

AUS DEM LEHRSTUHL
FÜR KIEFERORTHOPÄDIE
PROF. DR. DR. P. PROFF

FAKULTÄT FÜR MEDIZIN
DER UNIVERSITÄT REGENSBURG

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNG VON FERNRÖNTGENSEITEN-BILDERN UND
MESSUNGEN VON MANDIBULABEWEGUNGEN AN JUGENDLICHEN KLASSE II-
PATIENTEN

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnmedizin

der
Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Sylvia Weber

Regensburg 2012

Dekan: Prof. Dr. Dr. Torsten Reichert

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. Peter Proff

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Michael Behr

Tag der mündlichen Prüfung: Freitag, 19. Oktober 2012, 09:00 Uhr

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Fragestellung	4
2. Literaturübersicht zur Anatomie und Biomechanik von Mandibula und Maxilla beim Menschen	7
2.1. Knöcherne Anatomie von Mandibula und Maxilla beim Menschen	7
2.1.1. Entwicklung der Articulatio temporomandibularis	12
2.1.2. Gelenkkapsel und Synovia	16
2.1.3. Discus articularis	17
2.1.4. Die an Öffnungs- und Schließbewegung beteiligten Muskeln.....	19
2.1.5. Bänder der Articulatio temporomandibularis.....	22
2.1.6. Darstellung der Anatomie durch Fernröntgenseitenbilder	22
2.2. Biomechanik der Mandibulabewegungen	28
2.2.1. Gelenkeinteilungen, Zuordnung der Frontzähne und Widerstandszentrum....	28
2.2.2. Dimere Gelenkkettentheorie und Viergelenkgetriebe	32
2.2.3. Hauptfunktionszustände der Mandibula und physiologische Kondylenposition	34
2.3. Messungen der Mandibulabewegungen	38
3. Material und Methode	45
3.1. Material.....	45
3.1.1. Ebene Mandibulabewegungen und Fernröntgenseitenbilder (FRS-Bilder)	45
3.2. Methode.....	46
3.2.1. Auswertung der FRS-Bilder	46
3.2.2. Die anatomischen Strukturen in den FRS-Bildern	48
3.2.3. Auswertung der Mandibulabewegungen.....	49
3.2.4. Überlagerung von FRS-Bild und Konturlinien-Plot	53
3.2.5. Einführung eines neuen Koordinatensystems	59
3.2.6. Zu untersuchende Daten	60
4. Ergebnisse	67
4.1. Auswertung der Fernröntgenseitenbilder (FRS-Bild).....	67
4.1.1. Auswertung der FRS-Bilder mit der Software <i>fr-win-professional</i> von <i>computer konkret dental software</i>	67
4.1.2. Winkel- und Strecken-Auswertung der FRS-Bilder	68

4.1.3. Prüfung der Punkte für ML-NSL-, NL-NSL- und ML-NL-Winkel auf eindeutige, reproduzierbare Auffindbarkeit.....	69
4.1.4. Streuung der ML-NSL-, NL-NSL- und ML-NL-Winkel.....	71
4.2. Überlagerung von anatomischen Strukturen (FRS-Bild bzw. Umriss-Folien) mit zeitnahen Messungen der Unterkieferbewegungen und den entsprechenden Konturlinien-Plots.....	76
4.2.1. Lage der Punkte P_{\min} , P_{NM} und L_{\min} innerhalb und außerhalb knöcherner Strukturen des Unterkiefers	77
4.2.2. Lagebeziehung der Geraden g_0 zu den Punkten P_{\min} , P_{NM} und L_{\min}	81
4.2.3. Lage der Halswirbelsäule zur Geraden g_0	82
4.2.4. Lage der y-Achse vom neuen Koordinatensystem zum aufsteigenden Unterkiefer-Ast	83
4.2.5. Lage von MML im Vergleich zu WZL	84
4.2.6. Abstand MML zu C_p und Abstand WZL zu C_p	93
4.2.7. Lage von MML zur x-Achse	95
4.2.8. Lage von WZL zur x-Achse	98
4.2.9. Abstand des UK-Inzisalpunktes zur y-Achse und funktionale Länge der Mandibula	100
4.2.10. Histogramm zum Alter der untersuchten Patientengruppe	100
4.2.11. Boxplot für den kompletten Datensatz	102
4.2.12. Korrelationen im Datensatz	103
4.2.13. Varianzanalyse nach Geschlecht und Wilcoxon-Test	106
4.2.14. Faktorenanalyse	110
5. Diskussion	113
5.1. FRS-Bilder	114
5.1.1. Qualität der FRS-Bilder	114
5.1.2. Auswertende Person	117
5.1.3. Winkel-Differenz	117
5.2. Überlagerung von anatomischen Strukturen (FRS-Bild bzw. Unterkiefer-Umriss-Folien) mit zeitnahen Messungen der Unterkieferbewegungen und den entsprechenden Konturlinien-Plots.....	120
5.2.1. Schwierigkeiten beim Übereinanderlegen von FRS-Bild und Konturlinien-Plot	120
5.2.2. zeitnahe Auswertung von FRS-Bild und Konturlinien-Plot	124

5.2.3.	Lage der Punkte P_{\min} , P_{NM} , L_{\min} und der Geraden g_0 innerhalb und außerhalb knöcherner Strukturen des Unterkiefers	125
5.2.4.	Korrelationen im Datensatz und Faktorenanalyse	126
5.2.5.	Varianzanalyse nach Geschlecht	127
5.2.6.	Lage von MML und WZL.....	129
5.3.	Ansätze für weiterführende Untersuchungen	132
6.	Zusammenfassung.....	134
7.	Literaturverzeichnis und Legende für Abkürzungen.....	137

1. Einleitung und Fragestellung

In der Literatur gibt es eine Vielzahl von unterschiedlichen Ansichten zu den Bewegungsabläufen des menschlichen Kiefergelenks und zur Mandibula. Ein Zusammenhang zwischen Mandibulabewegungen und den knöchernen Strukturen des menschlichen Schädels wird in der Literatur bis heute kontrovers diskutiert. Auf der Suche nach einer Methode, die knöchernen Strukturen des Schädels mit Messungen von Mandibulabewegungen sinnvoll verbinden zu können, sind weiterführende Untersuchungen unverzichtbar, da jede Methode eine große Auswirkung auf die zahnärztlichen, chirurgischen und physiotherapeutischen Arbeiten hat.

Im Rahmen dieser Dissertation soll eine Möglichkeit gefunden werden, die anatomischen Strukturen aus den Fernröntgenseiten-Bildern (FRS-Bildern) mit Strukturen aus messbaren Unterkieferbewegungen in einen sinnvollen Zusammenhang zu bringen, um dadurch neue Erkenntnisse zu gewinnen. Bisher gibt es keine Kenntnisse einer Verbindung zwischen den anatomischen Strukturen aus den Auswertungen der FRS-Bilder mit Hilfe der kephalometrischen Fernröntgenanalyse und den Konturlinien-Plots aus Messungen der Unterkieferbewegungen.

Die FRS-Bilder stellen die anatomischen Strukturen in der Sagittalebene zweidimensional dar. Daher müssen für die im Rahmen dieser Dissertation durchgeführten Untersuchungen die Mandibulabewegungen im Konturlinien-Plot ebenfalls zweidimensional dargestellt und dem Vergrößerungsfaktor des FRS-Bildes angepasst werden. Obwohl jeder Mensch die Mandibula dreidimensional bewegt, kann er aber mit großer Präzision reine sagittale, also ebene Bewegungen ausführen. Allgemein bekannt ist, dass alle Bewegungen sphärisch sind, also einer Bewegung auf einer Kugeloberfläche entsprechen. Somit ist die Sagittale eine Bewegung auf einer Kugel mit unendlichem Radius. In der cranialen Grenzfunktion ist die Hauptfunktionsebene der Kiefergelenke die Sagittalebene, in der zum Beispiel die Bewegungen des Inzisalpunktes in einem zweidimensionalen Posselt-Diagramm beschrieben werden. Damit besteht nun eine Möglichkeit, die anatomischen Strukturen aus den FRS-Bildern den Konturlinien-Plots aus den Messungen der Unterkieferbewegungen zuzuordnen.

In dieser Arbeit wird eine Methode zur Überlagerung der anatomischen Strukturen (FRS-Bild) mit den zeitnahen Messungen der Unterkieferbewegungen und den entsprechenden Konturlinien-Plots dargestellt. Mit den Überlagerungen sollen dann neue Erkenntnisse über Zusammenhänge zwischen kephalometrischen Variablen aus der kephalometrischen Fernröntgenanalyse und den kinematischen Daten aus den Konturlinien-Plots gewonnen werden.

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, Zusammenhänge zwischen den kephalometrischen Daten der Fernröntgenanalyse und den kinematischen Daten aus den Konturlinien-Plots zu

finden. Dafür soll im Rahmen dieser Dissertation eine neue Methode der Überlagerung von anatomischen Strukturen (FRS-Bilder bzw. Unterkiefer-Umriss-Folien) mit zeitnahen Messungen der Unterkieferbewegungen und den entsprechenden Konturlinien-Plots vorgestellt werden, mit der vergleichende Untersuchungen von FRS-Bildern und Messungen von Mandibulabewegungen an jugendlichen Klasse II-Patienten ermöglicht werden sollen.

Im Universitätsklinikum Göttingen wird die kephalometrische Fernröntgenanalyse modifiziert nach Hasund zur Auswertung der FRS-Bilder benutzt. Mit dieser Analyse können dann Aussagen über die Klassifikation des Gesichtstyps, des Wachstumstyps und den basalen Trend der Anomalie getroffen werden, indem die gemessenen Parameter mit einem Mittelwert verglichen werden. Mit den ML-NSL-, NL-NSL- und ML-NL-Winkeln aus der kephalometrischen Fernröntgenanalyse modifiziert nach Hasund kann der Wachstumstyp bestimmt werden. Da diese Winkel eine wichtige Aussage zur Lagebeziehung von Maxilla und Mandibula zur Schädelbasis geben, sollen sie im Rahmen dieser Dissertation genauer untersucht werden.

Um die räumlichen Bewegungen der Mandibula darstellen zu können, müssen diese mit einem Messgerät aufgenommen werden, welches in der Lage ist, die sechs Freiheitsgrade der Bewegung zu erfassen (Thieme et al., 2006). Das Ultraschall-Messgerät CMS-JMA (Firma Zebris Medizintechnik, Isny) wird dafür benutzt. Nägerl et al. (1991) entwickelten in der Abteilung Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Göttingen ein eigenes Computerprogramm, um die Mandibulabewegungen zu analysieren. Zwar bewegt jeder Mensch die Mandibula dreidimensional, aber er kann mit großer Präzision reine sagittale, also ebene Bewegungen ausführen. In der cranialen Grenzfunktion ist die Hauptfunktionsebene der Kiefergelenke die Sagittalebene, in der zum Beispiel die Bewegungen des Inzisalpunktes in einem zweidimensionalen Posselt-Diagramm beschrieben werden. Die Patienten werden gebeten, ihre Mandibula entlang ihrer Grenzen zu bewegen, so dass der Inzisalpunkt vom Unterkiefer ein Posselt-Diagramm umfährt. Aus den gemessenen Bewegungen mit dem Ultraschall-Messgerät CMS-JMA (Firma Zebris Medizintechnik, Isny) können die zugehörigen Werte für die Translationen in x-, y- und z-Richtung und die Rotationen um die x-, y- und z-Achse berechnet werden, so dass daraus die Bewegungsspuren jedes beliebigen Punktes berechnet werden können (Nägerl et al., 1991). Um die Bewegung der Mandibula in einer beweglichen Scharnierachse darstellen zu können, müsste es eine Bewegungsspur geben, deren Punkt sich vorwärts und rückwärts auf der gleichen Bahn bewegt (Nägerl et al., 1991). Tatsächlich fanden Nägerl et al. (1991) diesen Punkt bei Untersuchungen an Klasse-I-Patienten: bezeichnet als absolute Flächenminimum P_{min} . P_{min} bewegt sich auf einer Kreisbahn, deren Mittelpunkt zusammen mit P_{min} eine neuromuskulär angesteuerte dimere Gelenkkette darstellt (Nägerl et al., 1991). Thieme et al. (2006) und Kubein-Meesenburg et al.

(2007a) untersuchten mathematische und absolute Flächen, sowie die Länge der Bewegungsspuren für äquidistante Punkte. Sie fanden ein zweites Flächenminimum P_{NM} und das Längenminimum L_{min} , welche zusammen mit dem absoluten Flächenminimum P_{min} besondere Punkte in jedem Konturlinien-Plot darstellen (Thieme et al., 2006 und Kubein-Meesenburg et al., 2007a). Um der Frage nachzugehen, wie diese drei besonderen Punkte der Anatomie des Kiefergelenks, aber besonders der Mandibula und der Zähne, zuzuordnen sind, soll im Rahmen dieser Dissertation eine Methode zur Überlagerung der anatomischen Strukturen (FRS-Bild) mit den zeitnahen Messungen der Unterkieferbewegungen und den entsprechenden Konturlinien-Plots vorgestellt werden. Für den Vergleich der Überlagerungen verschiedener Patienten mit unterschiedlichen Vergrößerungen von FRS-Bild und Konturlinien-Plot wird ein neues Koordinatensystem in jeder Überlagerung erstellt, so dass die Lage der oben genannten Punkte ermittelt werden kann. Nach Maßstabsanpassung sollen dann die Punkte aller ausgewerteten Überlagerungen in ein gemeinsames Koordinatensystem eingetragen werden. Die Verteilung der Minima und deren Zuordnung zur Anatomie können dann untersucht werden. Die Frage nach der Anordnung der Minimal-/Maximal-Linie MML aus den Konturlinien-Plots zum Widerstandszentrum WZ des ersten, oberen Molar und zur Linie der Widerstandszentren WZL im Oberkiefer soll erkannt werden, um zu untersuchen, ob zwischen der Anordnung der Zähne, ihrer Aufhängung und den Bewegungsstrukturen ein Zusammenhang besteht. Die Lage von der Minimal-/Maximal-Linie MML und von der Linie der Widerstandszentren WZL zum Kiefergelenk und im neuen Koordinatensystem soll ebenfalls untersucht werden. Um eine Übersicht über die untersuchte Patientengruppe zu erhalten, wird ein Histogramm zum Alter und für den kompletten Datensatz Boxplots erstellt. Mit Hilfe einer Korrelationsberechnung und einer Varianzanalyse nach Abhängigkeit vom Geschlecht sollen Zusammenhänge zwischen den kephalometrischen und den kinematischen Variablen geprüft werden. Die dadurch erhaltenen Ergebnisse sollen mit dem Wilcoxon-Test auf Aussagekraft geprüft werden. Eine abschließende Faktorenanalyse soll mit dem kompletten Datensatz durchgeführt werden, um von den vielen verschiedenen Variablen auf wenige zugrunde liegende latente Variablen (=Faktoren) schließen und mögliche Zusammenhänge zwischen den kephalometrischen und den kinematischen Variablen finden zu können.

Mit dieser Herangehensweise sollen vergleichende Untersuchungen von Fernröntgenseiten-Bildern und Messungen von Mandibulabewegungen an jugendlichen Klasse II-Patienten im Rahmen dieser Dissertation ermöglicht und eventuelle Zusammenhänge zwischen den kephalometrischen Daten aus der Fernröntgenanalyse und den kinematischen Daten aus den Konturlinien-Plots gefunden werden. Die Untersuchungen erfolgten in Zusammenarbeit mit der Abteilung Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Regensburg.

Der Oberkiefer, Maxilla, setzt sich aus dem Corpus maxillae, welches ein hohler Körper ist, dem Gaumenfortsatz, Processus palatinus, dem Stirnfortsatz, Processus frontalis, dem Jochbeinfortsatz, Processus zygomaticus, und dem zahntragenden Processus alveolaris zusammen (Waldeyer, 1973). Die vier genannten Knochenfortsätze des Corpus maxillae umschließen die mit Schleimhaut ausgekleidete Kieferhöhle, Sinus maxillaris, die von der Facies anterior, der Facies orbitalis, der Facies infratemporalis und der Facies nasalis umschlossen werden (Gühring und Barth, 1992) (Abb. 2).

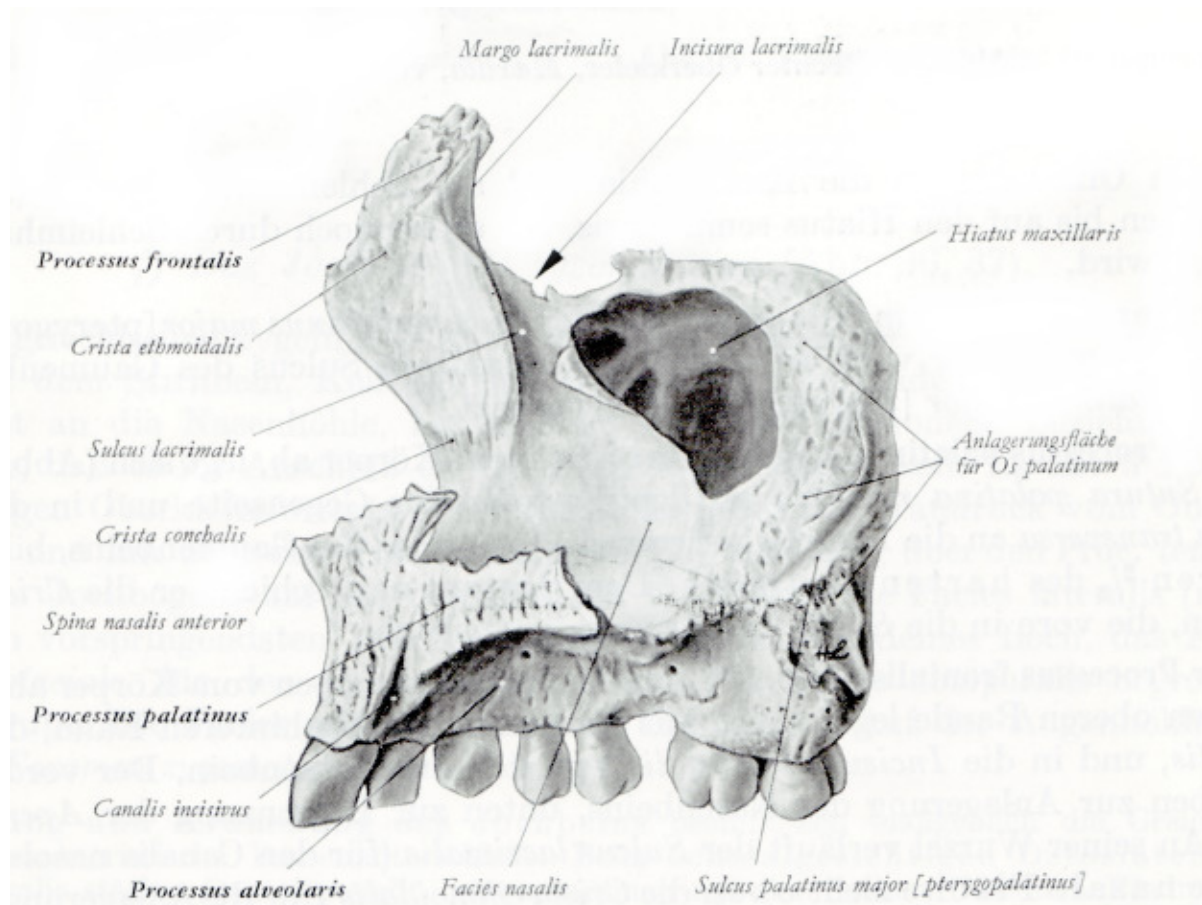


Abb. 2. Rechter Oberkiefer, Maxilla, von der nasalen Fläche aus gesehen (aus A. Waldeyer, 1973).

Der Processus palatinus ist die vom Körper aus zur Medianebene abgehende, horizontale Knochenplatte, die mit dem Fortsatz der Gegenseite in der Medianebene aufeinander trifft und die Sutura palatina mediana bildet (Waldeyer, 1973) (Abb. 3). Nach dorsal enden die beiden Gaumenfortsätze in der Sutura palatina transversa und bilden so die vorderen 2/3 des harten Gaumens (Waldeyer, 1973). Der Processus frontalis ragt nach vorn und oben an das Stirnbein und das Tränenbein (Waldeyer, 1973). Der Processus zygomaticus geht lateral vom Körper ab und grenzt an das Jochbein (Gühring und Barth, 1992). Der Processus alveolaris setzt nach

kaudal von der Vorderfläche des Körpers fort und trägt die Alveolen der Oberkieferzähne, Alveoli dentales (Gühring und Barth, 1992).

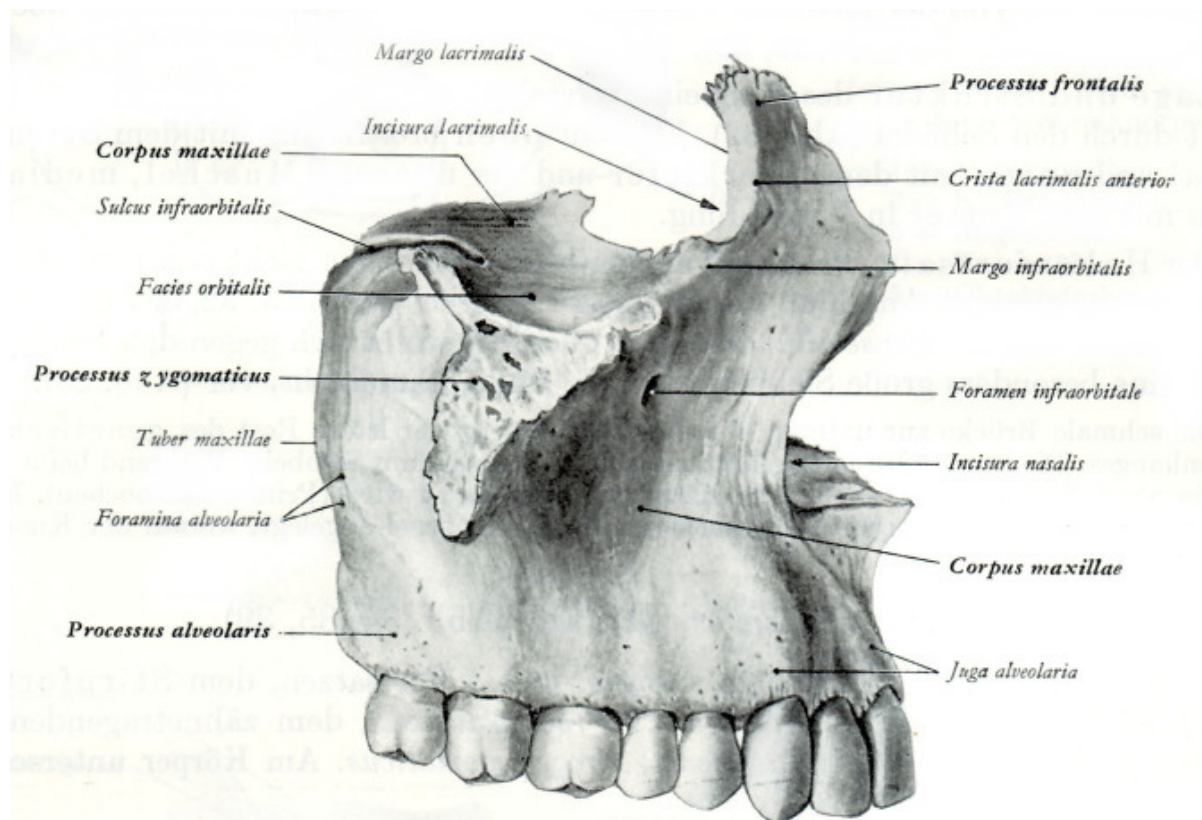


Abb. 3. Rechter Oberkiefer, Maxilla, von außen gesehen (aus A. Waldeyer, 1973).

Der Unterkiefer, Mandibula, besteht aus einem basalen Unterkieferkörper, der parabolisch gebogen ist, den Hauptteil bildet und beiderseits im Kieferwinkel, Angulus mandibulae, nach hinten und oben in den aufsteigenden Unterkieferast, Ramus mandibulae, übergeht (Waldeyer, 1973). Der Ramus mandibulae hat kranial einen Gelenkfortsatz, Processus condylaris, auch als Condylus bezeichnet und einen spitzen Muskelfortsatz, Processus coronoideus (Waldeyer, 1973). Der Processus condylaris setzt sich aus dem Caput mandibulae und dem Collum mandibulae zusammen (Waldeyer, 1973) (Abb. 4). Um den Kieferwinkel sind die äußeren und inneren Knochenflächen aufgeraut, damit der M. masseter (außen) und der M. pterygoideus medialis (innen) dort ansetzen können (Waldeyer, 1973). In Höhe der Kauflächen der Unterkieferseitenzähne liegt auf der Innenseite des Ramus mandibulae das Foramen mandibulae (Waldeyer, 1973). Der Alveolarteil (Pars alveolaris) des Unterkieferkörpers bildet den oberen, zahntragenden Teil des Unterkieferkörpers (Gühring und Barth, 1992).

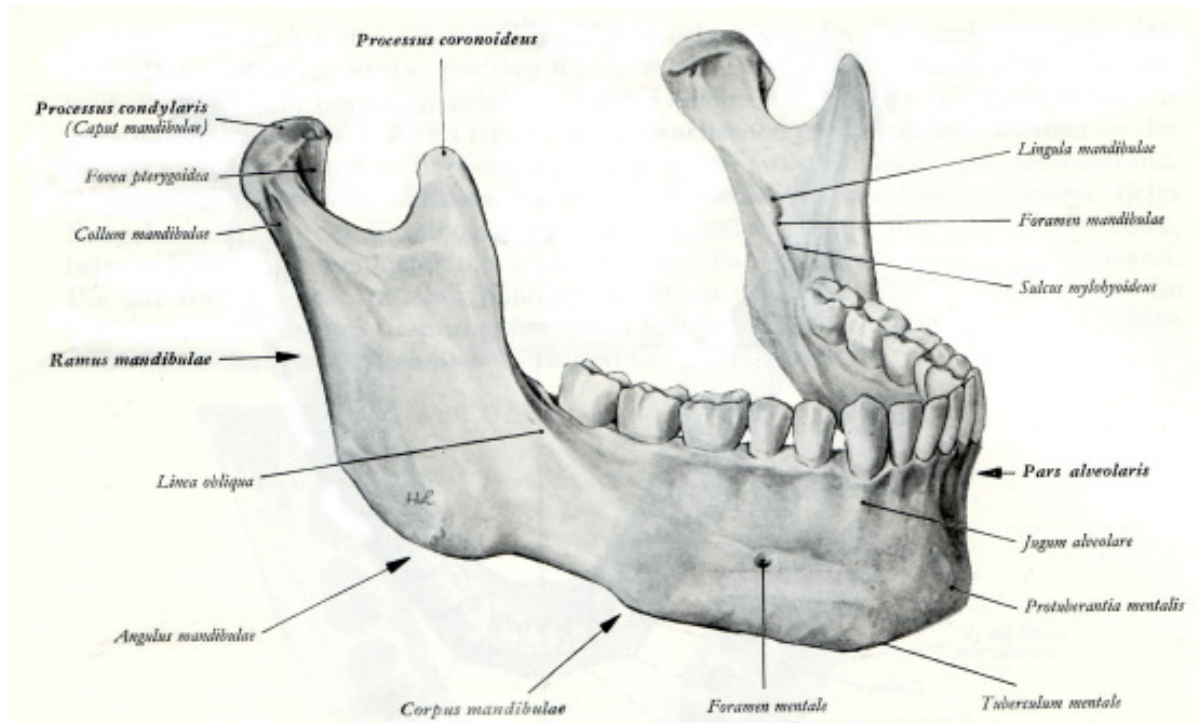


Abb. 4. Unterkiefer, Mandibula, Ansicht von rechts und vorn (aus A. Waldeyer, 1973).

Der Unterkiefer (Mandibula) ist der einzige Knochen des menschlichen Schädels, der über ein echtes Gelenk, dem Kiefergelenk, mit dem Neurokranium verbunden ist (Gühring und Barth, 1992).

Das Kiefergelenk (Articulatio temporomandibularis) ist ein Gelenk zwischen dem Kopf des Unterkiefers (Caput mandibulae) und einer Grube des Schläfenbeins (Fossa mandibularis der Pars squamosa) sowie des davor liegenden Gelenkhöckers (Tuberculum articulare) (Gühring und Barth, 1992) (Abb. 5). Eine Besonderheit ist die Gelenkoberfläche, die mit einer derben, faserigen Knorpelschicht bedeckt und nicht von hyalinem Knorpel überzogen ist (Solberg, 1986). In der Gelenkpfanne befindet sich eine kleine, bikonkave, faserknorpelige Scheibe (Discus articularis), durch die die Höhlung zweigeteilt wird (Gühring und Barth, 1992). Dadurch entstehen zwei voneinander getrennte Kammern, eine kraniale und eine kaudale (Gühring und Barth, 1992). Umgeben ist das Gelenk von einer Gelenkkapsel, die durch zwei Bänder verstärkt wird (Waldeyer, 1973).

Abb. 5. Sagittalschnitt durch das linke Kiefergelenk:

A) in habitueller Interkuspidation

B) in protrudierter Position

1 Tuberculum articulare

2 Facies articularis

3 Discus articularis

4 Fossa mandibularis

5 oberer Gelenkspalt

6 Synovialzotten

7 Porus acusticus externus

8 bilaminäre Zone

9 unterer Gelenkspalt

10 Capsula articularis

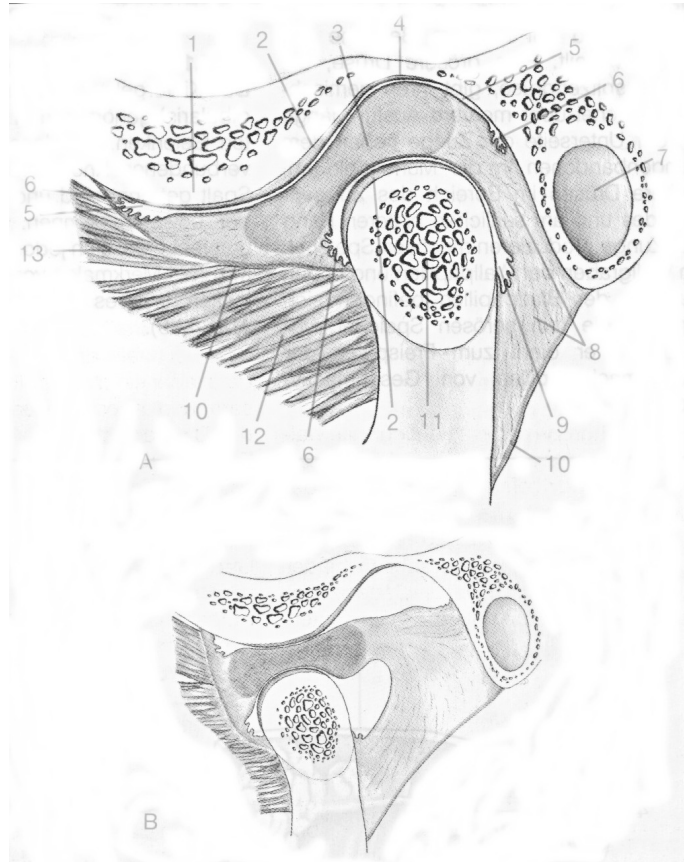
11 Caput mandibulae

12 unterer Bauch des

Musculus pterygoideus lateralis

13 oberer Bauch des

Musculus pterygoideus lateralis



(aus W. Gühring und J. Barth, 1992).

Der Processus condylaris der Mandibula ist elliptisch bis olivenförmig geformt oder hat ein walzenförmiges Aussehen und sitzt anteviert auf dem Collum mandibulae (Gühring und Barth, 1992). Die Form und Abmessung des Condylus kann individuell sehr unterschiedlich sein (Solberg et al., 1985). Zu 58% zeigt sich die konvexe Form, 25% der Kondylen sind flach, 12% haben ein eckiges Aussehen und 5% sind rund (Yale et al., 1966). Schräg nach dorsomedial zeigen die Längsachsen der beiden Unterkieferköpfe und schneiden sich vor dem Foramen magnum (Gühring und Barth, 1992).

Das Caput mandibulae stellt den Gelenkkopf (Condylus) dar und die Fossa articularis mit dem Tuberculum articulare die Gelenkpfanne (Mahan, 1983). Das Tuberculum articulare ist von ventral nach dorsal konvex gekrümmt (Mahan, 1983). An der Wurzel des Processus zygomaticus des Os temporale ist die Fossa articularis lokalisiert (Mahan, 1983).

2.1.1. Entwicklung der Articulatio temporomandibularis

Die embryologische Entwicklung des Kiefergelenks beginnt in der 5. Woche mit dem M. pterygoideus lateralis (Kahl-Nieke, 2001). Zwischen dem 41. und 45. Tag formt sich der „primäre Unterkiefer“ (Meckel-Knorpel) als Leitschiene für die Verknöcherung (Kahl-Nieke, 2001). Aus dem Meckel-Knorpel entstehen Knochenanteile der Kinnregion, Hammer und Amboss, vorderes Band des Os malleum, Spina inferior des Os sphenoidale und Ligamentum sphenomandibulare (Kahl-Nieke, 2001). In der 7. Woche bildet sich die Fossa mandibularis und die Gelenkscheibe aus, in der 9. bis 11. Woche die Gelenkkapsel und mit 10 bis 11 Wochen der Processus condylaris (Kahl-Nieke, 2001). Der Hauptanteil des Meckel-Knorpels wird bis zur 24. Woche zurückgebildet (Kahl-Nieke, 2001).

Das menschliche Kiefergelenk ist eine Sekundärbildung aus primärem Kiefergelenk zwischen Incus und Malleus (erster Schlundbogen) und sekundärem Kiefergelenk zwischen Processus condylaris und Pars squamosa des Os temporale, wodurch es zur Bildung der Articulatio temporomandibularis kommt (Hinrichsen, 1993). Die Entwicklung des Kiefergelenks wird bis zum 20. Lebensjahr abgeschlossen, aber auch später hat es noch ein großes Modulationspotential (Moffett, 1966).

So verändern sich die Kieferlagebeziehung und die Form der Kiefer sowohl in der Phase der pränatalen als auch in der postnatalen Schädelentwicklung (Kahl-Nieke, 2001) (Abb. 6). Im Laufe der pränatalen Schädelentwicklung besteht nach Schwarz (1951) bis zur sechsten Woche eine embryonale Retrogenie, dann im dritten Monat eine embryonale Progenie. In der weiteren pränatalen Entwicklung kommt es erneut zu einem forcierten Oberkieferwachstum, und bis zur Geburt hat sich eine zweite embryonale Retrogenie, auch Neugeborenenrücklage genannt, ausgebildet (Kahl-Nieke, 2001).

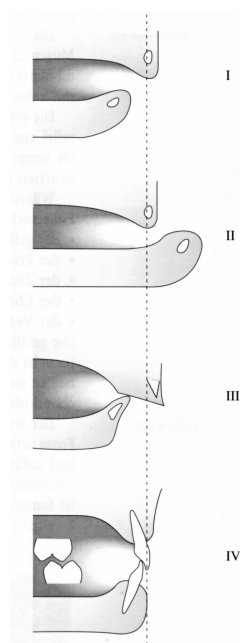


Abb. 6. Relative Lage des Unterkiefers zum Oberkiefer in verschiedenen Entwicklungsstadien (nach A. M. Schwarz, 1951):

I = embryonale Retrogenie vor Bildung des hinteren Gaumendaches,

II = embryonale Progenie nach Vereinigung der Gaumenfortsätze,

III = Neugeborenenrücklage zur Zeit der Geburt,

IV = beim Durchbruch der Milchzähne.

(aus B. Kahl-Nieke, 2001).

Bei Neugeborenen ist das Viszerokranium relativ unterentwickelt und hat im zweiten Lebensjahr ein Viertel, im achten Lebensjahr die Hälfte seiner Endgröße erlangt (Kahl-Nieke, 2001). Mit dem Durchbruch der ersten Milchzähne kann ein deutliches Größenwachstum des gesamten Viszerokraniums beobachtet werden (Kahl-Nieke, 2001). Beim Durchbruch der Milcheckzähne und Milchmolaren wächst der Alveolarfortsatz intensiv (Kahl-Nieke, 2001). Das Verhältnis von Neurokranium zu Viszerokranium bleibt bei intensivem Gehirnwachstum 8:1 bis zum fünften Lebensjahr (Kahl-Nieke, 2001). Ein Wechsel in der Wachstumsdominanz zwischen Schädel- und Gesichtswachstum findet um das fünfte Lebensjahr statt (Kahl-Nieke, 2001). Aber erst am Ende der ersten Wechselgebissperiode um das achte Lebensjahr wird dieser Wechsel deutlich, weil das Neurokranium zu diesem Zeitpunkt sein Wachstum beendet hat (Kahl-Nieke, 2001). Das Viszerokranium wächst durch Translation von Ober- und Unterkiefer sowie durch vertikale Drift der Alveolarfortsätze nach vorne und unten (Kahl-Nieke, 2001). An das Vertikalwachstum schließt sich das Längen- und Breitenwachstum an (Kahl-Nieke, 2001). Beim Neurokranium verändern sich die postnatale Schädelhöhe und die Gesichtsbreite am wenigsten (Kahl-Nieke, 2001). Ventralverlagerungen des Ober- und Unterkiefers sind beim weiblichen Geschlecht mit dem 18. Lebensjahr und beim männlichen Geschlecht mit dem 21. Lebensjahr abgeschlossen (Kahl-Nieke, 2001). Das Verhältnis Neurokranium zu Viszerokranium beträgt dann 2,5:1 (Kahl-Nieke, 2001). In Abbildung 7 sind die Veränderungen der Verhältnisse von Neurokranium zu Viszerokranium dargestellt. Die Ausgangssituation zeigt das Verhältnis Neurokranium zu Viszerokranium zum Zeitpunkt der Geburt. Der Endzustand ist beim weiblichen Geschlecht mit dem 18. Lebensjahr und beim männlichen Geschlecht mit dem 21. Lebensjahr erreicht (Miethke, 1990).

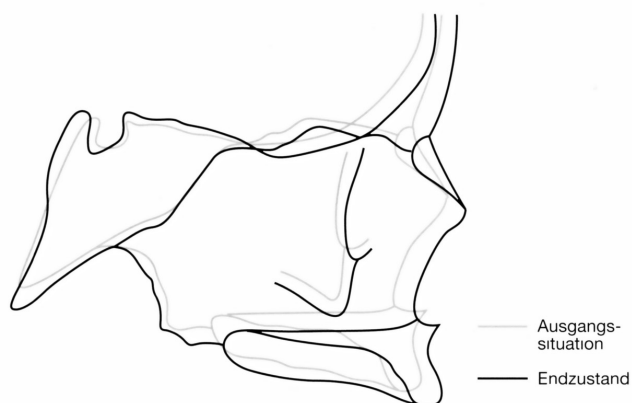


Abb. 7. Wachstumsvorgänge der vorderen Schädelbasis und des nasomaxillären Komplexes, bedingt durch Größenzunahme und Verlagerung

Ausgangszustand = Geburt

Endzustand = 18. bis 21. Lebensjahr

(aus R. R. Miethke, 1990).

Von großer Bedeutung sind die Verknöcherungen der Synchondrosen (Kahl-Nieke, 2001). Die Synchondrosis ethmoidalis und die Synchondrosis sphenofrontalis zeigen nach dem siebten Lebensjahr nur selten Veränderungen, da die entstandenen Suturen keine sagittalen und vertikalen Dimensionsveränderungen zulassen (Kahl-Nieke, 2001). Aus diesem Grund können die Knochenstrukturen der vorderen Schädelbasis als zuverlässige Anhaltspunkte bei der Überlagerung von Fernröntgenseitenbildern angesehen werden (Kahl-Nieke, 2001). Schon Virchow (1857) und Welcker (1862) haben die Synchondrosis sphenoccipitalis als primäres Wachstumszentrum beschrieben, welche bei Mädchen mit zwölf bis dreizehn Jahren und bei Jungen mit vierzehn bis fünfzehn Jahren verknöchert. Aber auch nach der Verknöcherung, die ein bis zwei Jahre dauert, befinden sich Knorpelzellen im Bereich der Synchondrose, die auf Wachstum hinweisen (Kahl-Nieke, 2001).

Oberkiefer und Unterkiefer weisen beide eine Größenzunahme nach dorsokranial auf, aus welcher für beide Kiefer eine kaudoventrale Translation resultiert (Kahl-Nieke, 2001).

Die postnatale Oberkieferentwicklung ist gekennzeichnet durch Apposition und Resorption (Kahl-Nieke, 2001). Eine vertikale Größenzunahme durch Knochenapposition überwiegt beim Durchbruch der Milchzähne (Kahl-Nieke, 2001). Durch die Knochenapposition am Gaumendach wächst der Oberkiefer um 0,3 mm pro Jahr nach kaudal, während parallel eine Verlängerung des harten Gaumens an seinem dorsalen Ende und der Alveolarfortsätze im Bereich der Tubera maxillae stattfindet (Baumrind et al., 1987). Lediglich am Nasenboden und in der Nasenhöhle findet Resorption statt, wodurch ihre Gestalt und Größe geprägt wird. Mit ein bis zwei Jahren schließt sich die Suture zwischen Prämaxilla und Maxilla (Enlow, 1975) und ist nach dem vierten Lebensjahr funktionsabhängig geschlossen (Delaire, 1976). Durch die Appositions- und Resorptionsvorgänge auf der vestibulären Seite der Prämaxilla im Bereich des A-Punktes, welcher im Fernröntgenseitenbild die tiefste Einziehung an der ventralen Begrenzung des Oberkiefers darstellt, kommt es zu einer Verlagerung des A-Punktes nach dorsal und kaudal (Kahl-Nieke, 2001). Als Folge des vertikalen Wachstums des Oberkiefers kommt es bis zum Ende der Pubertät zu einer Verbreiterung und Höhenzunahme der Alveolarfortsätze, danach sind die Umbauvorgänge reduziert (Kahl-Nieke, 2001). Eine Verlagerung des Oberkiefers findet durch Apposition und Resorption nach mesiokaudal statt (Kahl-Nieke, 2001). Diese Verlagerung wird auch als primäres Displacement bezeichnet und gleichzeitig kommt es zu einem sekundären Displacement, bei der die Maxilla durch Expansion der mittleren Schädelgrube passiv im Raum verlagert wird (Kahl-Nieke, 2001).

Der postnatale Unterkiefer weist innerhalb der ersten Lebensjahre ein stärkeres sagittales Wachstum als der Oberkiefer auf (Kahl-Nieke, 2001), was zu einem Ausgleich der Neugeborenenrücklage führt. Nach der Geburt ist der Unterkiefer geprägt durch kurze

aufsteigende Äste, einen großen Kieferwinkel, rudimentäre Gelenkfortsätze und kräftige Muskelfortsätze (Kahl-Nieke, 2001). Eine Synarthrose verbindet die rechte und linke Knochenspange, welche in den ersten Lebensjahren in eine Synostose übergeht (Kahl-Nieke, 2001). Während der mandibulären Wachstumsvorgänge kommt es erst zu einer Remodellierung, dann zu einem primären und sekundären Displacement und zum Schluss zu einem horizontalen Wachstum des Ramus ascendens (Kahl-Nieke, 2001). In diesen vier Wachstumsvorgängen kommt es zu einer Abnahme des Kieferwinkels, Längenzunahme bei weniger Breitenentwicklung, Vergrößerung und Ausformung des Kiefergelenks und Höhenzunahme des Corpus mandibulae (Dausch-Neumann, 1985). Durch das intensive Wachstum des Gelenkfortsatzes resultiert die Höhenzunahme der aufsteigenden Äste, welche eine kaudoverbrale Verlagerung des Unterkiefers bewirkt (Kahl-Nieke, 2001).

Der Condylus bewirkt eine individuelle Unterkieferrotation durch seine individuelle Wachstumsrichtung, stellt jedoch nicht das übergeordnete Wachstumszentrum der Mandibula dar, sondern hat nur lokale Funktion (Kahl-Nieke, 2001). Der Gelenkfortsatz kann zwei unterschiedliche Wachstumsmuster aufweisen, das brachyfaziale und das dolichofaziale Wachstum (Miethke, 1990) (Abb. 8). Der Gelenkfortsatz entwickelt sich beim brachyfazialen Wachstumsmuster, auch Counterclockwise-Wachstum genannt, hauptsächlich nach kranial und ventral, woraus eine Rotation des gesamten Unterkiefers nach kranial und ventral resultiert (Kahl-Nieke, 2001). Das dolichofaziale Wachstumsmuster wird auch als Clockwise-Wachstum bezeichnet, bei der die Rotation nach dorsokaudal erfolgt (Björk, 1955 und 1960).

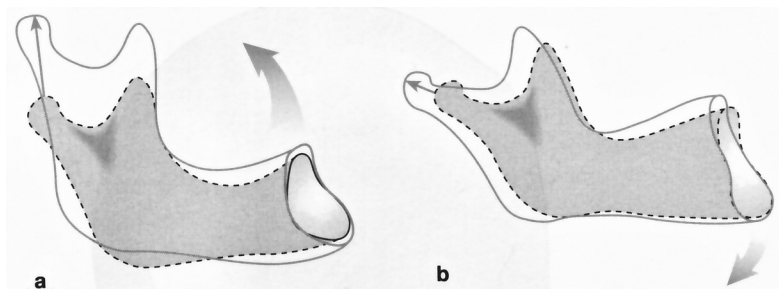


Abb. 8. Relation zwischen Wachstumsrichtung des Gelenkfortsatzes (dünner Pfeil) und Rotation des Unterkiefers (dicker Pfeil):

a) brachyfaziales oder Counterclockwise-Wachstum

b) dolichofaziales oder Clockwise-Wachstum

(aus R. R. Miethke, 1990).

Im höheren Lebensalter gehen Zähne durch Extraktionen oder durch den Abbau des Alveolarknochens infolge einer Parodontose verloren (Gühning und Barth, 1992). Der Alveolarfortsatz atrophiert unterschiedlich schnell zu einem abgerundeten, merklich

reduzierten Alveolarfortsatz (Gühring und Barth, 1992). Nach Zahnverlust beträgt die Resorptionsrate im Unterkiefer etwa einen Millimeter pro Monat, nach drei Monaten nimmt sie ab und stabilisiert sich nach dem zweiten Jahr bei einer Resorptionsrate von durchschnittlich 0,5 Millimeter pro Jahr (Gühring und Barth, 1992). Die Atrophie im Unterkiefer ist im Durchschnitt drei- bis viermal größer als im Oberkiefer (Gühring und Barth, 1992). Im Oberkiefer schreitet die Atrophie von ventral nach dorsal fort, während der Alveolarfortsatz von bukkal nach palatinal einen kleineren Kieferkammbogen ausprägt (Gühring und Barth, 1992). Im Unterkiefer hingegen vergrößert sich der Alveolarkamm nach vestibulär und lässt das Kinn hervortreten (Gühring und Barth, 1992). Der Unterkiefer kann bei Kieferschluss wesentlich weiter an den Oberkiefer herangeführt werden, dabei verkürzt sich das Untergesicht sehr stark (Gühring und Barth, 1992). Umbauvorgänge in den Kiefergelenken, Abbau und völliger Schwund des die Gelenkflächen bedeckenden Gelenkknorpels und des Discus stellen weitere Folgen des Zahnverlustes dar (Gühring und Barth, 1992).

In Abbildung 9 sind deutlich die Größenänderungen und die Veränderungen besonders im Bereich von Alveolarteil, Muskel- und Gelenkfortsatz sowie am Unterkieferwinkel erkennbar.

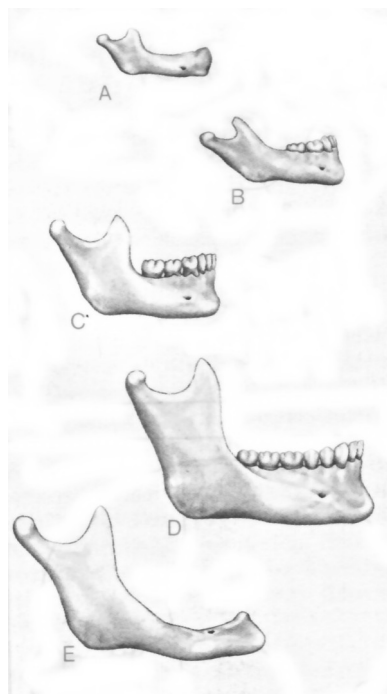


Abb. 9. Der knöcherne Unterkiefer in verschiedenen Altersstufen:

- a. Neugeborenes
- b. 3-jähriges Kleinkind
- c. 6-jähriges Kind
- d. Erwachsener
- e. Zahnloser Greis

(aus W. Gühring und J. Barth, 1992).

2.1.2. Gelenkkapsel und Synovia

Das Kiefergelenk ist von einer Gelenkkapsel umgeben, die das Gelenk stabilisiert (Yale et al., 1966). Die Kapsel umfasst das Collum mandibulae zirkulär und ist an diesem flächig

angeheftet (Yale et al., 1966; Waldeyer und Mayet, 1993a). Damit ein reibungsarmes Gleiten des Condylus bei Unterkieferbewegungen möglich ist, hat die Gelenkkapsel als wichtige Aufgabe die Produktion der synovialen Flüssigkeit (Yale et al., 1966). Die Synovia ernährt die Gelenk begrenzenden Gewebe und transportiert anfallende Stoffwechselprodukte ab (Yale et al., 1966). Letztlich ist sie auch für die Lubrikation verantwortlich.

2.1.3. Discus articularis

Der faserknorpelige Discus articularis liegt als bewegliche und elastische Zwischenscheibe zwischen dem kondylären und temporalen Anteil des Kiefergelenks und stabilisiert den Condylus bei Unterkieferbewegungen gegen die Eminentia (Solberg und Clark, 1983). Der Discus articularis lässt sich in verschiedene Abschnitte unterteilen. Rees (1954) teilte den Discus articularis in ein anteriores Band, eine intermediäre Zone, ein posteriores Band und eine bilaminäre Zone ein, was bis heute Gültigkeit besitzt (Abb. 10).

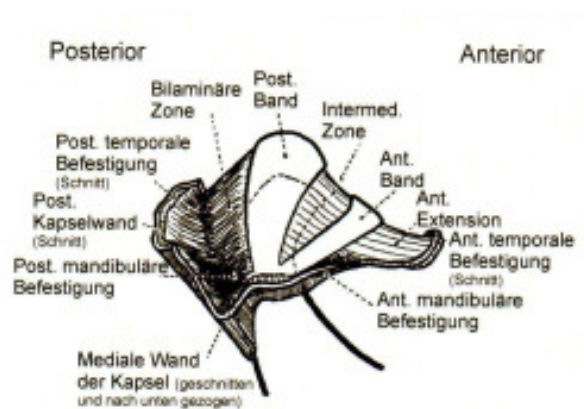


Abb. 10. Schemazeichnung eines Condylus mit Bandapparat und Teilen der Kapsel; Ansicht von lateral (aus A. L. Rees, 1954).

Zusammen mit der Gelenkkapsel bildet der Discus articularis das disco-kapsuläre System (Siebert, 1987; Benner, 1993). Bei dem Discus articularis handelt es sich um einen bikonkaven Faserknorpel, der das Gelenk in eine obere (kraniale discotemporale) Gelenkkammer und eine untere (kaudale discomandibuläre) Gelenkkammer teilt (Waldeyer, 1973). Beide Gelenkkammern haben jeweils eine eigene Membrana synovialis (Töndury, 1965). In der oberen Gelenkkammer findet zwischen dem temporalen Anteil des Gelenks und dem Discus eine Gleitbewegung (Translationsbewegung) statt und in der unteren Gelenkkammer erfolgt zwischen dem Discus und Caput mandibulae eine kombinierte Roll- und Gleitbewegung (Translations- und Rotationsbewegung) (Steenks und de Wijer, 1991). Neuere Erkenntnisse besagen, dass es keine Roll- und Gleitbewegungen im Kiefergelenk gibt

(Kubein-Meesenburg et al., 2007b). Ein Rollen ist nicht möglich, da sich die Rotationsachse außerhalb des Kiefergelenks befindet (Kubein-Meesenburg et al., 2007b). Der Discus articularis liegt in physiologischer Kondylenposition mit seiner dünnsten Stelle zwischen der ventrokranialen Kontur des Condylus und der Protuberantia articularis, was Kubein-Meesenburg (1985a) in metrischen Untersuchungen und mit biomechanischen Modellen zeigte.

Der Discus gewährleistet einen harmonischen, reibungsarmen Bewegungsablauf im Gelenk und nimmt somit eine zentrale Stellung im Gelenk ein (Siebert, 1987). Zusätzlich zu den morphologischen Auswertungen ergänzte Rees (1954) die klassische Einteilung durch histologische und biophysikalische Studien, durch welche gezeigt werden konnte, dass die intermediäre Zone im Gegensatz zum posterioren Band ein niedrigeren Elastizitätsmodul aufweist. Sie ist folglich viel weniger dehnbar als das posteriore Band (Gaa und Hüls, 1989).

Während der Öffnungsphase des Unterkiefers kann der Discus passiv mit dem Condylus nach anterior vor verlagert werden (Gühring und Barth, 1992). Dabei werden die elastischen Fasern gedehnt und bei Rückbewegung des Condylus der Discus wieder nach dorsal verlagert (Gühring und Barth, 1992). Der obere Kopf des Musculus pterygoideus lateralis kontrahiert sich nicht beim Öffnen, während der Condylus auf die Eminentia zuwandert (Mahan, 1983). Durch die Spannung in der oberen Schicht der bilaminären Zone ist der Discus posterior auf den Condylus gedreht (Mahan, 1983). Im Gegensatz zur oberen Schicht ist das Stratum inferius bei Mundöffnung gelockert, weil der Condylus rotiert und somit in dieser Schicht keine oder nur wenige Zugbeanspruchung besteht (Mahan, 1983). Während der Condylus beim Schließen des Mundes nach posterior geht, kontrahiert der obere Kopf des M. pterygoideus lateralis, wodurch er den Discus vorne hält, ihn auf die antero-superiore Fläche des Condylus zurück bringt und dem Zug der oberen Schicht somit entgegen wirkt (Mahan, 1983).

2.1.4. Die an Öffnungs- und Schließbewegung beteiligten Muskeln

Die Unterkieferbewegungen resultieren aus einem Zusammenspiel von verschiedenen Muskeln (Lehmann und Hellwig, 2002). Die verschiedenen Muskelgruppen steuern durch die unterschiedliche Aktivität den Kieferschluss, die Kieferöffnung, die Protrusion, die Retrusion und die Laterotrusion (Lehmann und Hellwig, 2002) (Abb. 11).

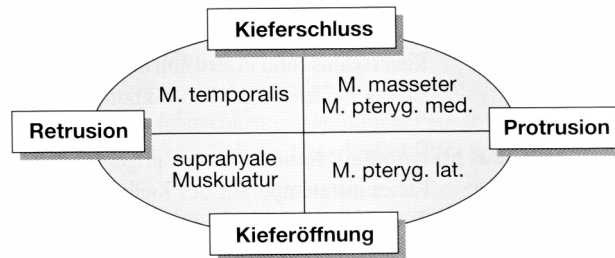


Abb. 11. Kaumuskulatur und Unterkieferbewegungen (aus K. M. Lehmann und E. Hellwig, 2002).

An der Kieferöffnung sind die suprahylale Muskulatur und der Musculus pterygoideus lateralis beteiligt (Lehmann und Hellwig, 2002) (Abb. 12). Die oberen Zungenbeinmuskeln sind wiederum unterteilt in a) tiefe Muskeln des 2. Viszeralbogens (M. stylohyoideus, Venter posterior des M. digastricus) und b) Mundboden- und Unterkieferzungenmuskeln (Venter anterior des M. digastricus, M. mylohyoideus, M. geniohyoideus), die vor allem zur Mundöffnung beitragen (Gühring und Barth, 1992). Durch den M. stylohyoideus und den Venter posterior des M. digastricus wird das Zungenbein während dieser Bewegung in seiner Position gehalten sowie durch die unteren Zungenbeinmuskeln (Gühring und Barth, 1992). Zu dieser Muskelgruppe gehört der M. sternohyoideus, der M. sternothyroideus, der M. thyrohyoideus und der M. omohyoideus (Gühring und Barth, 1992). Sie können das Zungenbein auch dem Brustbein nähern und bewirken einen Zug in kaudaler Richtung auf das Zungenbein (Gühring und Barth, 1992). Der M. pterygoideus lateralis unterstützt durch die suprahyalen Muskeln bei fixierter infrahyaler Muskulatur die Mundöffnung (Gühring und Barth, 1992).

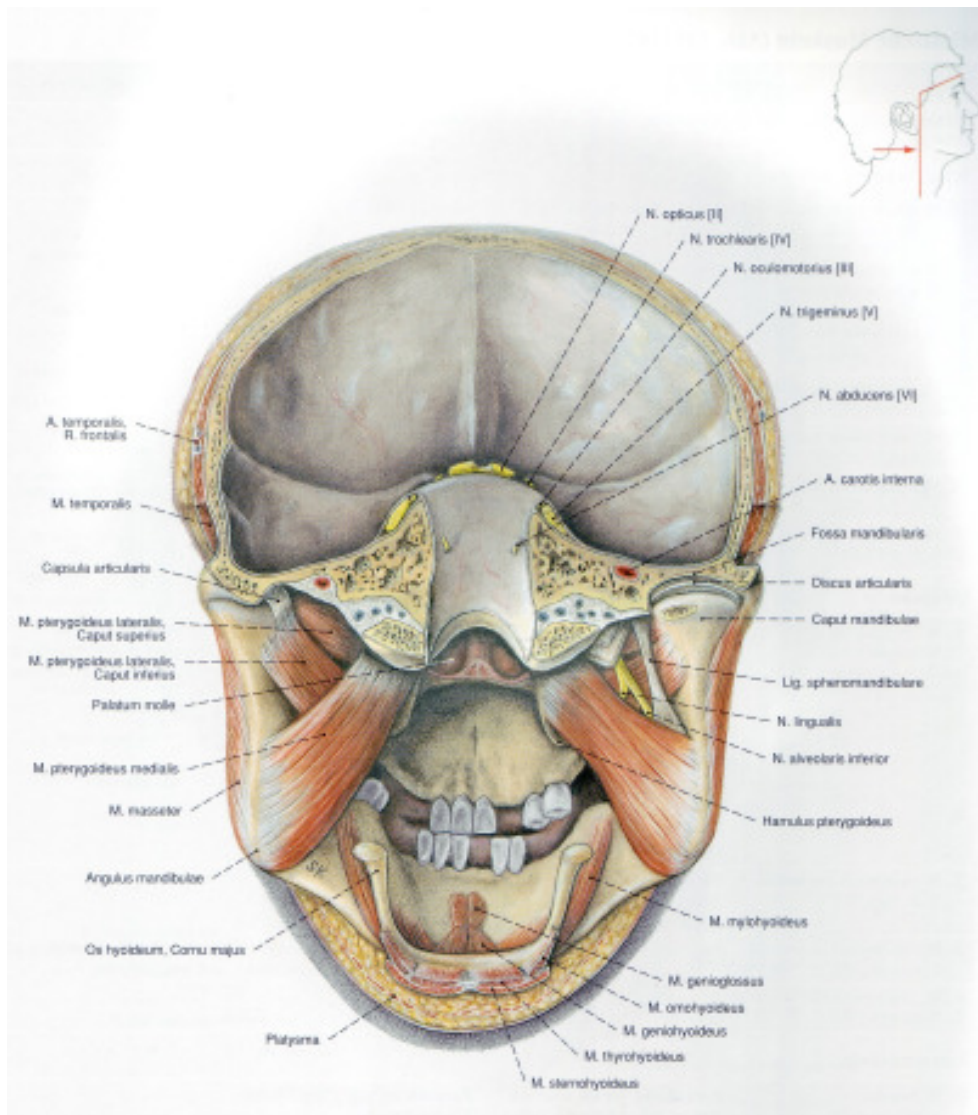


Abb. 12. Kaumuskulatur, Mm. masticatorii, von dorsal, frontaler Schnitt im Bereich des Kiefergelenks und horizontaler Schnitt des Schädeldachs; Zungenbein etwas nach dorsal gekippt, Gelenkkapsel des Kiefergelenks überwiegend entfernt (aus J. Sobotta 2004).

Am Kieferschluss sind M. temporalis, insbesondere der Pars anterior, M. masseter und M. pterygoideus medialis beteiligt (Fanghänel et al., 2003). Der M. masseter, der eigentliche Kaumuskeln, besteht aus einer oberflächlichen schrägen und einer tiefen senkrechten Lage (Fanghänel et al., 2003). Die Pars superficialis entspringt in den vorderen zwei Dritteln des Arcus zygomaticus vom Unterrand, zieht nach hinten und unten und setzt nahe dem Angulus mandibulae an der Tuberositas masseterica an (Waldeyer, 1973). Die Pars profunda entspringt am hinteren Drittel des Arcus zygomaticus an der Innenfläche, zieht senkrecht abwärts und setzt am Ramus mandibulae bis hinauf zum Processus coronoideus an, wo er mit dem M. temporalis zusammen hängen kann (Waldeyer, 1973). Der M. masseter wirkt stets mit M.

temporalis und M. pterygoideus medialis zusammen und hebt den Unterkiefer (Kieferschluss) (Waldeyer, 1973). Der M. temporalis entspringt fächerförmig in der Fossa temporalis und der Fascia temporalis (Waldeyer, 1973). Die Fasern konvergieren und setzen mit einer derben Sehne am Proc. Coronoideus mandibula an (Waldeyer, 1973). Die Ansatzsehne erstreckt sich bis weit in den Muskel hinein (Waldeyer, 1973). Der M. temporalis zieht den Unterkiefer zurück (Kieferschluss) (Sobotta, 2004). Der M. pterygoideus medialis entspringt an der Fossa pterygoidea des Os sphenoidalis (Waldeyer, 1973) und setzt am Angulus mandibulae (Innenfläche) an (Sobotta, 2004). Er hebt bei beidseitiger Kontraktion den Unterkiefer (Kieferschluss) und hilft bei einseitiger Kontraktion auf der Balanceseite bei der Mahlbewegung mit, indem er den Unterkiefer etwas schräg nach vorn führt (Gühring und Barth, 1992).

An der Protrusion sind neben den schon oben erwähnten M. masseter und M. pterygoideus medialis auch der M. pterygoideus lateralis beteiligt (Lehmann und Hellwig, 2002). Der M. pterygoideus lateralis besteht aus zwei Köpfen, die sich in ihrer Funktion unterscheiden (Mc Namara, 1973; Mahan et al., 1983; Widhalm et al., 1987). Der obere Kopf entspringt an der Ala major ossis sphenoidalis (Unterfläche bis zur Crista infratemporalis) und setzt am Proc. condylaris mandibulae (Fovea pterygoidea) an, zusätzlich ziehen Sehnenfasern zur Kapsel und zum Discus articularis des Kiefergelenks (Carpentier et al., 1993). Der untere Kopf des M. pterygoideus lateralis entspringt an der Lamina lateralis des Proc. pterygoideus (Außenfläche) und setzt am Proc. condylaris (Fovea pterygoidea) an (Sobotta, 2004). Bei beidseitiger Kontraktion zieht der untere Kopf den Unterkiefer nach vorn und kann bei Lähmung der Mundbodenmuskulatur den Kiefer allein öffnen (Frick et al., 1992). Der obere Kopf kontrahiert sich zeitgleich mit den Schließmuskeln (Frick et al., 1992). Bei einseitiger Kontraktion führt der Muskel den Kiefer bei der Mahlbewegung auf der Balanceseite schräg nach vorn (Frick et al., 1992). Der M. pterygoideus lateralis spielt für die Feinmotorik der Unterkieferbewegung eine wichtige Rolle (Lehr und Owens, 1980; Murray et al., 1999; Phanachet und Murray, 2000).

Bei der Retrusion wird der M. temporalis, insbesondere der Pars posterior, durch die suprahayale Muskulatur unterstützt (Lehmann und Hellwig, 2002). Die Laterotrusion wird durch retrusiven Muskelzug auf der Arbeitsseite und protrusiven Muskelzug auf der Nichtarbeitsseite verursacht (Lehmann und Hellwig, 2002).

2.1.5. Bänder der Articulatio temporomandibularis

Die medialen und lateralen Ligamente des Kausystems begrenzen die Bewegungen des Unterkiefers, sind Träger der sensiblen Strukturen und übernehmen Führungsfunktionen (Rocabado und Inglarsh, 1991). Es gibt das Ligamentum laterale, das Ligamentum stylomandibulare und das Ligamentum sphenomandibulare (Gühring und Barth, 1992).

Das Ligamentum laterale (temporomandibulare) liegt an der Außenseite des Gelenks (Gühring und Barth, 1992) und begrenzt die Retrallbewegung des Unterkiefers in Richtung des äußeren Gehörgangs (Waldeyer, 1973). Da dieses Ligamentum die Gelenkkapsel lateral verstärkt, stellt es ein Verstärkungsband dar (Gühring und Barth, 1992). Das Ligamentum sphenomandibulare liegt an der Innenseite des Unterkieferastes, weist aber keine räumliche Beziehung zum Kiefergelenk auf (Gühring und Barth, 1992). Das Ligamentum stylomandibulare verläuft von dem Processus styloideus zum Angulus mandibulae (Waldeyer, 1973). Das Ligamentum sphenomandibulare und das Ligamentum stylomandibulare sind Führungsbänder (Waldeyer, 1973).

2.1.6. Darstellung der Anatomie durch Fernröntgenseitenbilder

Mit Hilfe von Röntgenbildern lassen sich die äußeren weichgewebigen und inneren skelettalen Strukturen des Kopfes darstellen (Segner und Hasund, 1998). Die diagnostische Grundlage der Kephalemetrie ist neben dem Orthopantomogramm das Fernröntgenseiten(FRS)-Bild, das eine wichtige Ergänzung zum Modellbefund darstellt und den Schädel in der Norma lateralis (zweidimensional) zeigt (Segner und Hasund, 1998).

Abbildung 13 erklärt das Prinzip der Aufnahme eines FRS-Bildes. Die Röntgenstrahlung verlässt die Apparatur radial durch eine Blende (rechts im Bild), so dass die Röntgenstrahlung nur auf den Bereich von Kopf und Hals gelangt sowie auf die dahinterliegende Fotoplatte (Segner und Hasund, 1998). Nur der Zentralstrahl trifft senkrecht auf den Kopf des Patienten und die Fotoplatte (Segner und Hasund, 1998). Alle übrigen Strahlen sind zunehmend divergent, je näher sie auf die Randbereiche der Fotoplatte treffen (Segner und Hasund, 1998). Das führt dazu, dass z. B. die Länge der Gesichtsmitte l_0 mit l_v vergrößert auf die Fotoplatte abgebildet wird (Segner und Hasund, 1998). Dieses Phänomen verringert sich, je weiter der Patient und somit die Fotoplatte von der Röntgenquelle entfernt ist (Segner und Hasund, 1998). Zu große Entfernungen im Bereich mehrerer Meter sind jedoch nicht praktikabel, zum einen wegen der größeren Bewegungsunschärfe bedingt durch längere

Belichtungszeiten und zum anderen wegen zu kleiner Räumlichkeiten in den Praxen (Segner und Hasund, 1998).

Zusätzlich zur Vergrößerung V , die durch die radiale Aufweitung des Röntgenstrahls entsteht, und ca. 10% beträgt, werden die filmfernen Strukturen des Kopfes mit einem höheren Vergrößerungsfaktor abgebildet als die filmnahen (Segner und Hasund, 1998). Das führt dazu, dass die linke Gesichtshälfte nicht auf die rechte Gesichtshälfte projiziert werden kann, sondern doppelt erscheint (Segner und Hasund, 1998).

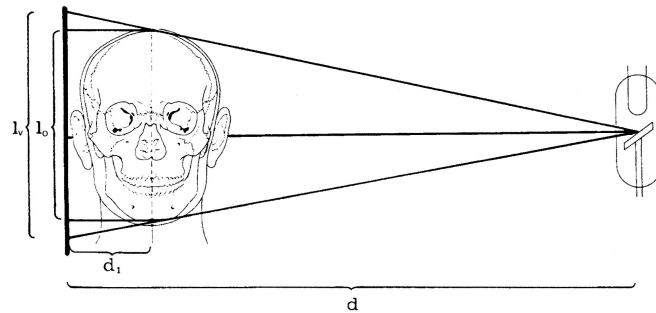


Abb. 13. Vergrößerungseffekt bei der Fernröntgenseiten-Aufnahme durch Divergenz der Strahlen. V stellt den Vergrößerungsfaktor dar, d den Fokus-Film-Abstand und d_1 den Abstand Objekt-Film (aus D. Segner und A. Hasund, 1998).

Mit FRS-Bildern können dentale und skelettale Strukturen untersucht und beurteilt werden: die Lagebeziehung zwischen der Dentition und den Kieferbasen, die Achsenstellung der Schneidezähne, das Viszerokranium und die Schädelbasis, der Gesichtstyp, das Weichteilprofil und eine Wachstumsvorhersage des Gesichtsschädels.

Wichtig für die aussagekräftige Analyse eines FRS-Bildes sind eindeutig definierte und reproduzierbare Referenzpunkte und -linien. Hierbei wird der Behandler heutzutage von benutzerfreundlichen Computerprogrammen unterstützt. Für die Auswertung der FRS-Bilder stand in der Abteilung Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Göttingen die Diagnostiksoftware *fr-win-professional* der Firma *computer konkret dental software* zur Verfügung. Die Referenzpunkte können in skelettale, dentale und konstruierte Referenzpunkte gegliedert werden (Abb. 14).

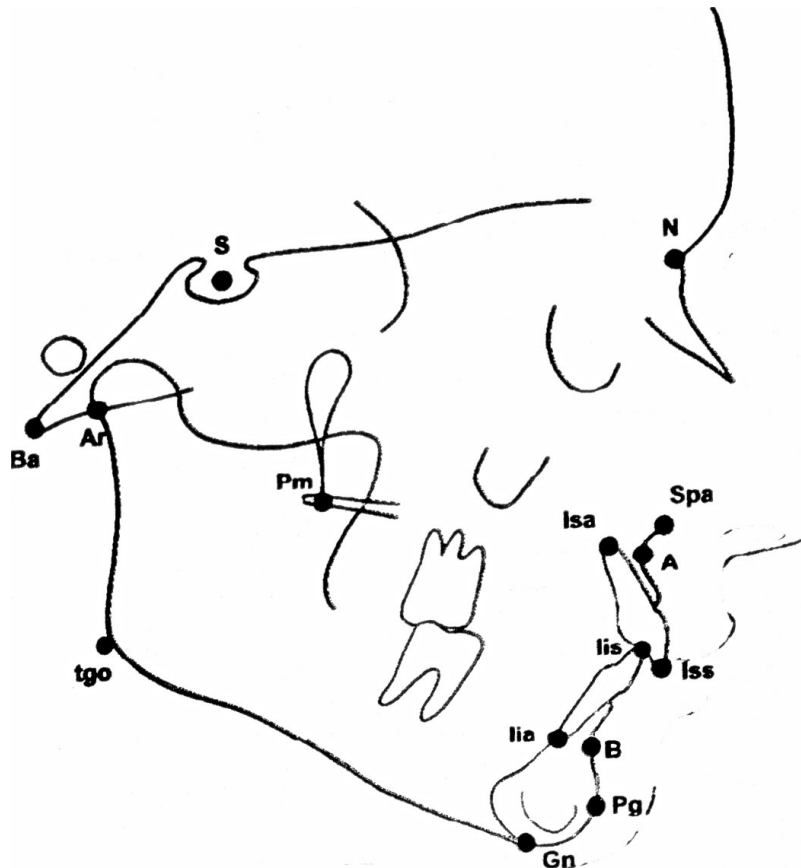


Abb.14. Referenzpunkte (aus D. Segner und A. Hasund, 1998).

Zu den skelettalen Referenzpunkten gehören der Nasion-Punkt N, welcher der anteriorste Punkt der Sutura nasofrontalis in der Median-Sagittal-Ebene und bei offener V-Form der Sutura der posteriorste Punkt ist, der Sella-Punkt S, welcher das Zentrum der Fossa hypophysialis in der Median-Sagittal-Ebene darstellt, der Basion-Punkt Ba, welcher der posteriorste und kaudalste Punkt des Clivus in der Median-Sagittal-Ebene ist, der Spina nasalis anterior-Punkt Spa, welcher der anteriorste Punkt der knöchernen Spina nasalis in der Median-Sagittal-Ebene und die anteriore Begrenzung der Maxilla ist, der Pterygomaxillare-Punkt Pm, welcher die posteriore Begrenzung der Maxilla darstellt und ein konstruierter röntgenologischer Punkt am Schnittpunkt der anterioren Wand der Fossa pterygopalatina mit dem Nasenboden ist (Segner und Hasund, 1998; Lohrmann und Nikow, 2002). Ebenso gehören zu den skelettalen Referenzpunkten der A-Punkt, welcher der tiefste Punkt der anterioren Kontur des Oberkiefer-Alveolarfortsatzes in der Median-Sagittal-Ebene ist, der B-Punkt, welcher der tiefste Punkt der anterioren Kontur des Unterkiefer-Alveolarfortsatzes ebenfalls in der Median-Sagittal-Ebene darstellt, der Pogonion-Punkt Pg, welcher den anteriorsten Punkt des knöchernen Kinns in der Median-Sagittal-Ebene kennzeichnet, der Gnathion-Punkt Gn, welcher der anteriorste und inferiorste Punkt des knöchernen Kinns in

der Median-Sagittal-Ebene ist, und der Articulare-Punkt Ar, welcher einen konstruierten Schnittpunkt des Unterrandes der Schädelbasis mit der dorsalen Kontur des Collum mandibulae darstellt (Segner und Hasund, 1998).

Zu den dentalen Referenzpunkten gehören der Inzision superius-Punkt Iss, welcher der inzisalste Punkt des anteriorsten oberen mittleren Inzisivus ist, der apikale superius-Punkt Isa, welcher der apikalste Punkt der Wurzel des anteriorsten oberen mittleren Inzisivus ist, der Inzision inferius-Punkt Iis, welcher den inzisalsten Punkt des anteriorsten unteren mittleren Inzisivus darstellt und der apikale inferius Iia, welcher der apikalste Punkt der Wurzel des anteriorsten unteren mittleren Inzisivus ist (Segner und Hasund, 1998).

Zu den zwei konstruierten Punkten gehören der Spina Strich-Punkt Sp', welcher der Schnittpunkt der Nasal-Linie mit der Nasion-Gnathion-Linie ist, und der Gonion-Tangentenpunkt tgo, welcher den Tangentenschnittpunkt der Mandibular-Linie mit der Ramus-Linie darstellt (Segner und Hasund, 1998).

Zu den Referenzlinien (Abb. 15) gehören die Nasion-Sella-Linie NSL als Hauptreferenzlinie, die Nasal-Linie NL und die Mandibular-Linie ML (Segner und Hasund, 1998). Die Nasion-Sella-Linie NSL wird als Hauptreferenzlinie in Relation zur vorderen Schädelgrube vermessen, für welche die Verbindungslinie zwischen den Punkten Nasion und Sella verwendet wird (Segner und Hasund, 1998). Die Nasal-Linie NL wird durch die Verbindung zwischen den Punkten Pterygomaxillare Pm und der Spina nasalis anterior Spa als Bezugslinie für den Nasenhöhlenboden und der Oberkieferbasis dargestellt (Segner und Hasund, 1998). Die Mandibular-Linie ML wird als Referenzlinie für das Corpus mandibulae verwendet und mit der Tangente vom Gnathion Gn zum Unterrand der Mandibula in der Gegend des Kieferwinkels gebildet (Segner und Hasund, 1998).

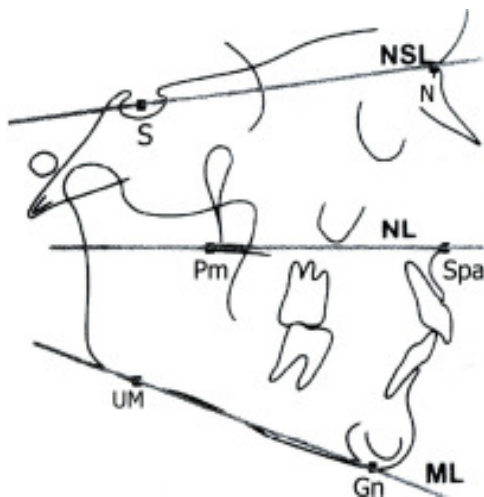


Abb. 15. Referenzlinien (aus D. Segner und A. Hasund, 1998).

Zwischen den oben genannten Referenzpunkten werden Winkel, Stecken und Linien konstruiert, welche dann wiederum eine aussagekräftige Bedeutung für die kieferorthopädische Diagnostik darstellen (Segner und Hasund, 1998). Im Universitätsklinikum Göttingen wird die Fernröntgenanalyse modifiziert nach Hasund (1974) zur Auswertung der FRS-Bilder benutzt. Mit dieser Analyse können dann Aussagen über die Klassifikation des Gesichtstyps, des Wachstumstyps und den basalen Trend der Anomalie getroffen werden, indem die gemessenen Parameter mit einem Mittelwert verglichen werden. Die ermittelten Daten werden in einer Diagnose zusammengefasst und übersichtlich darstellt. Aus der Diagnose ergeben sich die Aufgaben für den Behandlungsplan in der Kieferorthopädie.

Im Folgenden soll nun genauer auf den ML-NSL-Winkel, den NL-NSL-Winkel und den ML-NL-Winkel eingegangen werden, da diese Winkel im Rahmen dieser Dissertation ausgewertet wurden. Die angegebenen Mittelwerte und Standardabweichungen stammen aus der Arbeit von Ibe (1991). Die Norm stellt anhand einer repräsentativen Stichprobe einen ermittelten Referenzbereich beziehungsweise Referenzwert dar, der Schwankungsbreiten innerhalb der Normgrenzen zulässt. Aus Untersuchungsergebnissen gesunder Personen werden Referenzwerte statistisch ermittelt. Ergebnisse, die bei rund 95 % aller gesunden Untersuchten gefunden werden, werden als normal betrachtet. Dabei wird das Intervall so gewählt, dass jeweils im minimalen und maximalen Bereich der gemessenen Werte eine Standardabweichung von 2,5 % als Grenze genommen wird, was bedeutet, dass immer 2,5 % aller Gesunden einen „zu hohen“ und 2,5 % einen „zu niedrigen“ Wert aufweisen, ohne dass sie auch nur im Entferntesten an einem klinischen Befund leiden. Deswegen gibt es auch immer einen bestimmten Schwankungsbereich, in welchem alle Werte als normal betrachtet werden.

Der ML-NSL-Winkel ist Ausdruck der Neigung der Mandibula zur Schädelbasis und des Wachstumsmusters (Lohrmann und Nikow, 2002). Der Mittelwert beträgt für eine harmonische Neigung des Unterkiefers $32^\circ \pm 6^\circ$ und stellt einen neutralen Wachstumstyp dar (Lohrmann und Nikow, 2002). Ist der Winkel vergrößert, besteht ein vertikaler Wachstumstyp mit posteriorer Neigung des Unterkiefers (Lohrmann und Nikow, 2002). Bei verkleinertem Winkel besteht ein horizontaler Wachstumstyp mit anteriorer Neigung des Unterkiefers (Lohrmann und Nikow, 2002).

Der NL-NSL-Winkel ist Ausdruck der Neigung der Maxilla zur Schädelbasis und beträgt im Mittel $8,5^\circ \pm 3^\circ$ (Lohrmann und Nikow, 2002). Bei vergrößertem Winkel besteht eine

posteriore Neigung des Oberkiefers und bei verkleinertem Winkel eine anteriore Neigung des Oberkiefers (Lohrmann und Nikow, 2002).

Der ML-NL-Winkel stellt den Interbasiswinkel dar und ist wichtig zur Beurteilung basal-vertikaler Relationen (Lohrmann und Nikow, 2002). Dieser Winkel ist Ausdruck der Neigung der Mandibular-Linie ML zur Basis der Maxilla-Linie NL und damit der Divergenz der Kieferbasen (Lohrmann und Nikow, 2002). Der Mittelwert beträgt $23,5^\circ \pm 3^\circ$ (Lohrmann und Nikow, 2002). Bei vergrößertem Winkel besteht ein vertikaler Wachstumstyp mit basaler vertikal offener Relation (Lohrmann und Nikow, 2002). Ist der Winkel verkleinert, spricht man von einem horizontalen Wachstumstyp mit basaler vertikal tiefer Relation (Lohrmann und Nikow, 2002).

2.2. Biomechanik der Mandibulabewegungen

2.2.1. Gelenkeinteilungen, Zuordnung der Frontzähne und Widerstandszentrum

Jedes Gelenk hat eine ausgeprägte Hauptfunktionsrichtung (Kubein-Meesenburg et al., 1993b). Die artikulierenden Gelenkflächen lassen sich mit ihren konvexen und konkaven Strukturen in verschiedene Gelenkkonfigurationen einteilen: Doppelkonvexität, Doppelkonkavität, Konkavität-Konvexität und Konvexität-Konkavität (Nägerl, 1990) (Abb. 16).

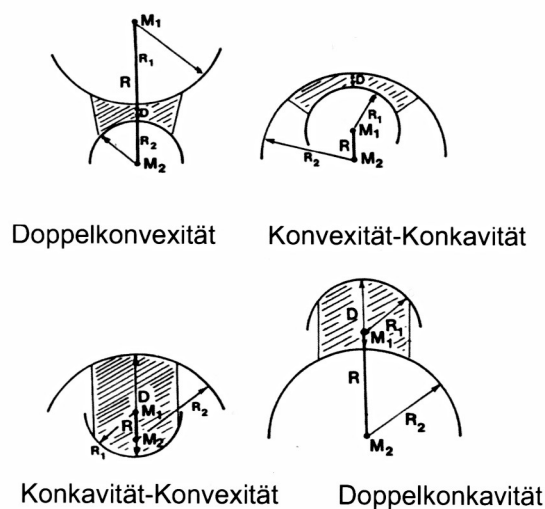


Abb. 16. Vier Typen von Gelenkkonfigurationen als dimere Gelenkkette bei ebener Bewegung (aus H. Nägerl, 1990).

FICK (1910) teilte Gelenke nach Freiheitsgraden ein; hierbei gibt die Anzahl der Freiheitsgrade Auskunft über die Anzahl der voneinander unabhängigen Relativbewegungen in einer gelenkigen Verbindung:

- 1 Freiheitsgrad: Scharniergelenk, Radgelenk
- 2 Freiheitsgrade: Sattelgelenk, Eigelenk
- 3 Freiheitsgrade: Kugelgelenk

Diese Einteilung ist aber veraltet, da die Rotationsachsen der artikulierenden Flächen nicht übereinstimmen. Die Autoren Brown (1975), Boering (1979) und Bade (1999) beschrieben, dass menschliche Gelenkflächen inkongruent sind und diese Inkongruenz nicht durch die Disci und Menisci kompensiert wird.

Nägerl (1990) konnte zeigen, dass eine gravierende Änderung der biomechanischen Eigenschaften aus der Inkongruenz der artikulierenden Flächen resultiert und dass sich damit eine Änderung der Anzahl der Freiheitsgrade als funktionelles Konstruktionsmerkmal aller

Gelenke ergibt. Räumliche Kraftsysteme ohne Bewegungseinschränkung können bis zu sechs Freiheitsgrade besitzen, zusammengesetzt aus drei Rotationsbewegungen und drei Translationsbewegungen (Nägerl, 1990).

Bei der einseitigen Betrachtung eines Kiefergelenks als räumliches System müssen diesem fünf Freiheitsgrade zugeordnet werden, jedoch zusammen mit dem kontralateralen Gelenk ergibt sich ein Verlust eines Freiheitsgrades, weswegen aus dem Zwangszusammenspiel beider Kiefergelenke für das System vier Freiheitsgrade resultieren (Nägerl, 1990). Die Kiefergelenke eines Patienten können zusammen Öffnungs- und Schließbewegungen, Protrusions- und Retrusionsbewegungen sowie Seitwärtsbewegungen durchführen (s. Kap. 2.1.4.) (Lehmann und Hellwig, 2002).

Die Bedeutung des Discus wurde von einigen Autoren in theoretischen Ansätzen unterschiedlich diskutiert. Dingmann et al. (1975) und Sonnenburg et al. (1984) teilten dem Discus als Hauptaufgabe die Abpufferung der Kräfte zu. Kubein-Meesenburg (1985b) bezeichnete den Discus als eine Art Zwischenlegscheibe zwischen zwei Kugeln, dem Condylus und dem Tuberculum articulare bzw. Os temporale, welche bei Bewegung passiv mitgenommen werden. Weiterhin beschrieb der Autor die Differenz des minimalen und maximalen Abstands zwischen Condylus und Os temporale als Disklusionspotential, welches senkrecht zu den Gelenkflächen ausgerichtet ist und wodurch der artikuläre Freiraum für die Kondylen geschaffen wird (Kubein-Meesenburg et al. 1993a). Bei Darstellungen der kranialen Grenzfunktionen wurde das biomechanische Funktionsmodell zumeist ohne Discus dargestellt, da es sich mit Discus nur geringfügig ändert (Kubein et al. 1980). Kubein et al. (1980) nahmen an, dass der Discus zur Kraftverteilung im Gelenk beiträgt, weil im Sagittalschnitt Kontaktlinien statt des dargestellten Kontaktpunktes bei sonst gleichartigen Bewegungsmöglichkeiten entstanden.

Die Zuordnung der Frontzähne kann in eine statistische und eine funktionelle Zuordnung gegliedert werden (Kubein-Meesenburg et al. 1984):

Zur Bestimmung der statistischen Frontzahnstufen nach Hasund (1974) dienen als Referenzpunkte jeweils die Inzisalkante des Oberkiefer- und Unterkieferschneidezahnes. Es wird zwischen einer sagittalen und einer vertikalen Stufe unterschieden (Lohrmann und Nikow, 2002). Die sagittale Stufe, auch als Overjet bezeichnet, stellt die Distanz zwischen der labialen Fläche des mittleren Unterkieferschneidezahnes und der Inzisalkante des mittleren Oberkieferschneidezahnes in Millimetern dar (Lohrmann und Nikow, 2002). Der Normwert beträgt 2 Millimeter (Lohrmann und Nikow, 2002). Bei einer umgekehrten sagittalen Stufe erhält der Messwert ein negatives Zeichen (Lohrmann und Nikow, 2002). Die vertikale

Distanz, auch Overbite genannt, wird zwischen den Inzisalkanten des oberen und unteren mittleren Schneidezahnes ebenfalls in Millimetern gemessen (Lohrmann und Nikow, 2002). Der Messwert bekommt ein negatives Vorzeichen, wenn ein frontal offener Biss vorliegt (Lohrmann und Nikow, 2002).

Bei der funktionellen Frontzahnzuordnung von Kubein-Meesenburg et al. (1984) wird die Schneidezahnstellung nach biomechanischen Gesichtspunkten beurteilt (Abb. 17). Hier ist die Okklusion der Schneidezähne von Bedeutung, unabhängig von der Länge der Schneidekante, da die obere Inzisalkante bei Messung der sagittalen und vertikalen Stufe nicht beschreibt, wie die Schneidezähne tatsächlich in Kontakt stehen (Kubein-Meesenburg et al., 1984). Kubein-Meesenburg et al. (1984) hatten in biomechanischen Untersuchungen den Wendepunkt der palatinalen Konkavität zur palatinalen Konvexität des Oberkieferschneidezahnes als idealen Zuordnungsbereich für die Inzisalkante des Unterkieferschneidezahnes ermittelt. Im Sagittal-Vertikal-Schnitt wird dieser Umschlagpunkt zwischen der palatinalen Konkavität und der palatinalen Konvexität als Nullpunkt NP bezeichnet (Kubein-Meesenburg et al., 1984). Damit stellen am Oberkieferschneidezahn der Nullpunkt und am Unterkieferschneidezahn die Inzisalkante die Referenzpunkte dar (Kubein-Meesenburg et al., 1984). Abweichungen zwischen Nullpunkt und Inzisalkante des Unterkieferschneidezahnes werden sagittal und vertikal erfasst und stellen zugleich die therapeutische Aufgabe, denn das therapeutische Ziel ist die ideale Zuordnung durch Kontakt der Unterkieferschneidekante mit dem Nullpunkt des oberen Inzisivus (Kubein-Meesenburg et al., 1984). Bei Abweichungen in der Sagittalebene nach distal erhält die sagittale Nullpunktstufe ein negatives Vorzeichen und bei Abweichungen nach mesial ein positives Vorzeichen (Kubein-Meesenburg et al., 1984). Abweichungen in vertikaler Richtung bei einer tiefen Relation erhalten ein negatives Vorzeichen und bei einer offenen Relation ein positives Vorzeichen (Kubein-Meesenburg et al., 1984).

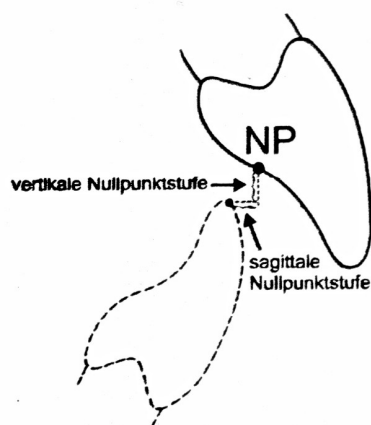


Abb. 17. Bestimmung der Nullpunktstufen bei der funktionellen Frontzahnzuordnung nach Kubein-Meesenburg et al. (1984) (aus B. Lohrmann und O. Nikow, 2002).

Nach biomechanischen Kriterien gibt es für die Zahnachse im Oberkiefer zur NA-Linie einen Idealwert von $22^\circ \pm 3^\circ$ und für die Frontzahnneigung im Unterkiefer zur NB-Linie einen Idealwert von $25^\circ \pm 3^\circ$, welche zur Stabilität der Zahnzuordnung beitragen (Ibe, 1991). In habitueller Interkuspidation verläuft die Wendepunkttangente durch den Kondylenmittelpunkt, wenn der Oberkieferinzisivus ideal steht (Ibe, 1991). Wenn der Unterkieferinzisivus ideal steht, beträgt der Winkel μ zwischen der Zahnachse und der Verbindungslinie von der Inzisalkante und dem Kondylenmittelpunkt 90° (Ibe, 1991).

Alle Zähne sind resilient in der Alveole über das Desmodont aufgehängt und besitzen ein Widerstandszentrum, welches sich an einem intraalveolären Punkt der Zahnwurzel befindet (Kahl-Nieke, 2001). Eine an diesem Punkt angreifende Kraft bewirkt eine reine Translationsbewegung ohne Kippung des Zahnes (Burstone, 1962). Aus Kräften, die außerhalb des Widerstandszentrums auf den Zahn angreifen, resultiert ein Drehmoment M , welches das Produkt aus Kraft F und senkrechtem Abstand a zum Widerstandszentrum ist und aus dem eine rotatorische Komponente der Kraft folgt (Kahl-Nieke, 2001). Aus dem Summationseffekt zwischen Einspannungszentrum und Massenmittelpunkt resultiert die Lage des Widerstandszentrums, welche somit von der Wurzellänge und Wurzelform, der Anzahl der Wurzeln, der Dicke und Qualität der Bindegewebsmanschette, der Höhe des Attechments und von der Form und Dicke des Parodontalligamentes abhängt (Kahl-Nieke, 2001). Ohne Parodontalläsionen liegt das Widerstandszentrum von einem einwurzeligen Zahn am Übergang vom zervikalen zum mittleren intraalveolären Wurzeldrittel (Burstone, 1962) und für einen mehrwurzeligen Zahn 1-2 mm apikal der Furkation (Kahl-Nieke, 2001). Für die Untersuchungen im Rahmen dieser Dissertation wird für den ersten Molar im Oberkiefer die Lage des Widerstandszentrums WZ einheitlich für alle Überlagerungen 10 mm oberhalb der Okklusionsebene der Oberkiefer-Seitenzähne festgesetzt (s. Kap. 3.2.6.). Die Linie der Widerstandszentren WZL für die Oberkieferseitenzähne verläuft parallel und oberhalb der Okklusionsebene durch das vorher festgelegte Widerstandszentrum WZ des ersten oberen Molaren (s. Kap. 3.2.6.).

2.2.2. Dimere Gelenkkettentheorie und Viergelenkgetriebe

Als dimere Gelenkkette wird eine Anordnung aus zwei Scharniergelenken bezeichnet, deren Krümmungsmittelpunkte immer den gleichen Abstand haben (Nägerl, 1990). In der Getriebelehre werden diese beispielsweise durch eine Pleuelstange miteinander verbunden, so dass die Gelenke um die jeweiligen Krümmungsmittelpunkte rotieren können (Nägerl, 1990). Eine dimere Gelenkkette kann weiter unterteilt werden in eine gestreckte dimere Gelenkkette und eine überschlagene dimere Gelenkkette (Kubein-Meesenburg et al., 1999). Eine gestreckte dimere Gelenkkette liegt vor, wenn sich zwei konvexe Gelenkflächen berühren, und eine überschlagene dimere Gelenkkette, wenn eine konvexe Gelenkfläche eine konkave berührt (Kubein-Meesenburg et al., 1999). Im Vergleich ist die überschlagene dimere Gelenkkette bei entgegen gesetzten Kräften stabiler (Kubein-Meesenburg et al., 1999).

Die Kiefergelenksfunktion kann mit dem Prinzip der Doppelkonvexität und der Konvexität-Konkavität erklärt werden (Nägerl, 1990):

Zwei konvexe Strukturen, Condylus und Tuberculum articulare, gleiten im konstanten Abstand R aneinander ab; ihre Krümmungsmittelpunkte B und C liegen jeweils innerhalb der zugehörigen anatomischen Strukturen (Nägerl, 1990) (Abb. 18a). Die protrusive Führung des Condylus entlang des Tuberculum articulare kann als gestreckte dimere Gelenkkette angesehen werden (Kubein-Meesenburg et al., 1999).

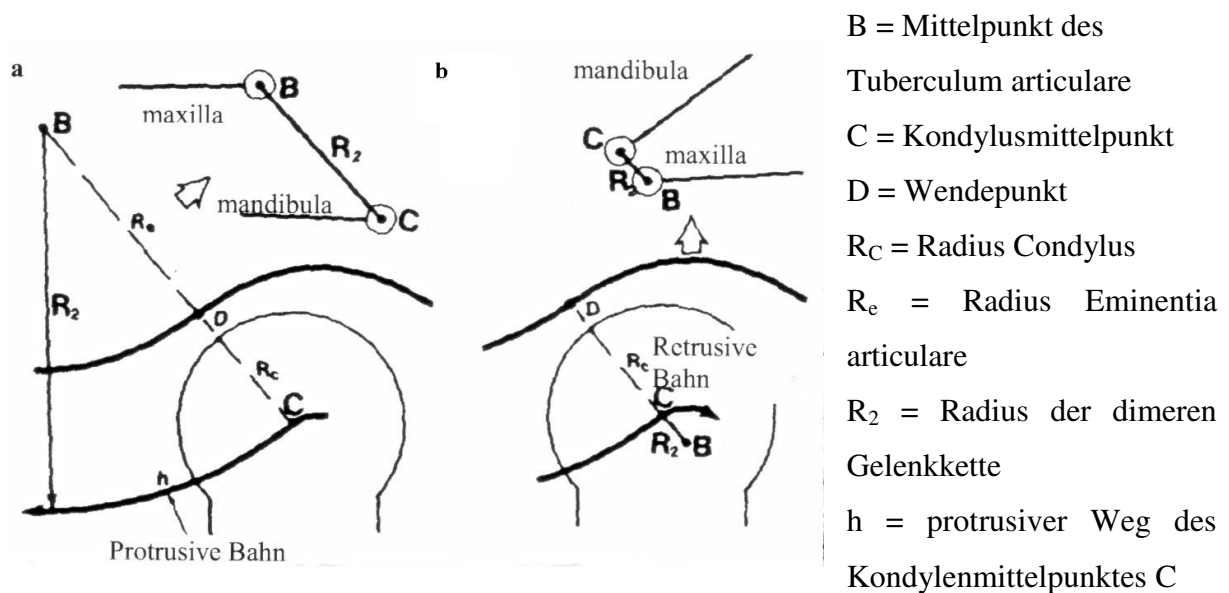


Abb. 18. Die Kiefergelenksfunktion als Getriebe:

- a) protrusives Getriebe des Kiefergelenks, gestreckte dimere Gelenkkette
- b) retrusives Getriebe des Kiefergelenks, überschlagene dimere Gelenkkette

(nach D. Kubein-Meesenburg et al., 1999).

Das Prinzip der Konvexität-Konkavität kommt in der retrusiv geführten Funktion des Kiefergelenks zum Tragen (Nägerl, 1990) (Abb. 18b). Bei Retrusion wandert der Condylus auf einer verkleinerten Bahn des Fossaradius in die Fossa (NÄGERL 1990). Die Gelenkflächen haben keinen konstanten Krümmungsradius und auf der Seite der Fossa und des Tuberculum auch keinen konstanten Drehpunkt (Kubein-Meesenburg, 1985a). Der Mittelpunkt der Fossa B liegt außerhalb der Fossa im Condylus unterhalb des Kondylusmittelpunktes C, weswegen dieses System als überschlagene dimere Gelenkkette bezeichnet wird (Kubein-Meesenburg et al., 1999).

Aus zwei miteinander verbundenen, dimeren Gelenkketten lässt sich ein Viergelenkgetriebe zusammenfassen (Kubein-Meesenburg et al., 1990b) (Abb. 19). Für die Protrusion besteht das Viergelenk aus einer gestreckten (Condylus und Tuberculum articulare) und einer überschlagenen (oberer und unterer Inzisivus) dimeren Gelenkkette (Kubein-Meesenburg und Nägerl, 1990). Verbunden sind sie durch das Gestell L_{MX} , welches anatomisch zur Maxilla gehört und die Verbindungslinie zwischen den Krümmungsmittelpunkten von Tuberculum B und oberem Inzisivus A darstellt, und durch die Koppel L_{MD} , die der Mandibula zugeordnet ist und dem Abstand zwischen der unteren Inzisalkante Bp und dem Kondylusmittelpunkt C entspricht (Kubein-Meesenburg und Nägerl, 1990). Die Abstände der Krümmungsmittelpunkte $A-Bp=R_1$ und $B-C=R_2$ bilden die beweglichen Pleuel (Kubein-Meesenburg und Nägerl, 1990).

Das stomatognathe System kann als ein zwangsläufiges Getriebesystem bezeichnet werden (Kubein-Meesenburg et al., 1990b). Jeder Punkt einer solchen Konstruktion kann sich nur auf einer Bahn bewegen, da die Koppel die Pleuel führt, was als Zwanglauf bezeichnet wird (Kubein-Meesenburg et al., 1990b). Die Bewegung der beweglichen Koppel und der anderen beweglichen Pleuelstange ist somit genau vorgegeben (Kubein-Meesenburg et al., 1990b).

In Untersuchungen an FRS-Bildern wurden die für das stomatognathe Koppelsystem wichtigen Krümmungsmittelpunkte wieder gefunden (Kubein-Meesenburg et al., 1989a). Da bei dem Viergelenk in der kranialen Grenzführung am Beispiel des Kiefergelenkes bei Retrusion und Protrusion nur ein Pleuel um 360° drehen kann, wird dieses Viergelenkgetriebe auch als Kurbelschwinge bezeichnet (Kubein-Meesenburg et al., 1990b). Wie in Abbildung 19 dargestellt, kann sich nur die anteriore Führung entlang der palatinalen Konkavität der Frontzähne um 360° drehen (Kubein-Meesenburg und Nägerl, 1990). Die posteriore Führung der Kiefergelenke schwingt lediglich um einen gewissen Bereich (Kubein-Meesenburg und Nägerl, 1990).

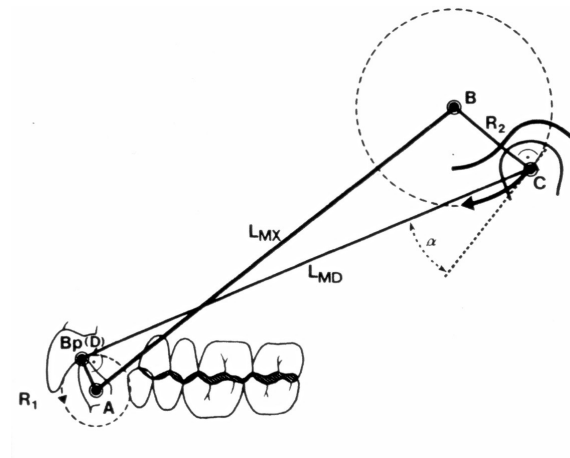


Abb. 19. Funktionsprinzip der kranialen Grenzfürung: Viergelenkgetriebe

A = Krümmungsmittelpunkt des oberen Inzisivus

B = Mittelpunkt des Tuberculum articulare

C = Kondylusmittelpunkt

Bp (D) = untere Inzisalkante

R_1 = Abstand von dem Krümmungsmittelpunkt des oberen Inzisivus A und der unteren Inzisalkante Bp

R_2 = Abstand des Krümmungsmittelpunktes von Tuberculum articulare B und Kondylusmittelpunkt C

$R_1 + R_2$ = bewegliches Pleuel

L_{MX} = Gestell, Verbindungslinie zwischen den Krümmungsmittelpunkten vom Tuberculum articulare B und dem oberen Inzisivus A

L_{MD} = Koppel, Abstand von unterer Inzisalkante Bp und Kondylusmittelpunkt C

(aus D. Kubein-Meesenburg und H. Nägerl, 1990).

2.2.3. Hauptfunktionszustände der Mandibula und physiologische Kondylenposition

Die Mandibula besitzt drei Hauptfunktionszustände: die kraniale Grenzfürung, die freie Unterkieferbewegung und die Bolusfunktion (Waldeyer et al., 2003).

Bis heute ist die Auffassung, dass die zentrische Position der Kondylen in den Fossae articulares zu liegen habe (Gerber, 1973; Weinberg, 1975; Guichet, 1977b), in anerkannten Lehrbüchern wie Lehmann und Hellwig (2002) zu finden. Biomechanisch sinnvoll ist aber eine physiologische Zuordnung des Condylus am Wendepunkt WP (Kubein, 1985a) (Abb. 20). Das Os temporale weist im sagittalen Schnitt eine sigmoide Kurve auf, in welcher der

Übergang von der Konkavität zur Konvexität des Os temporale, genauer der Fossa zur Protuberantia, als Wendepunkt angesehen wird (Kubein-Meesenburg, 1985a). Am Wendepunkt angreifende Normalkräfte sind am größten und die Scherkräfte am geringsten ausgeprägt (Kubein und Jähmig, 1983). In diesem Wendepunkt ist ein Umschalten von der retrusiven in die protrusive Funktion möglich, weswegen das Getriebe auch als schaltläufiges Getriebe bezeichnet werden kann (Nägerl, 1990).

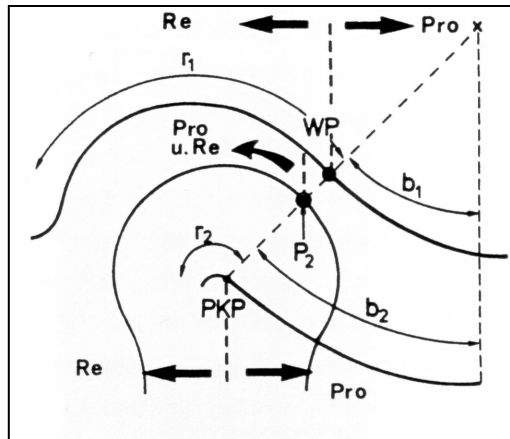


Abb. 20. Sagittales Kieferfunktionsbild ohne Diskus.

Protrusive und retrusive Bahnen.

Re = retrusive Bahn

Pro = protrusive Bahn

WP = Wendepunkt

r₁ = retrusive Bahn am Os temporale

r₂ = retrusive Bahn des Condylus

b₁ = protrusive Bahn am Os temporale

b₂ = protrusive Bahn des Condylus

PKP = Physiologischen Kondylenposition

P₂ = Wendepunkt am Condylus, von welchem die Retrusion und Protrusion startet

(nach D. Kubein-Meesenburg, 1985a).

Kraniale Grenzbewegungen sind im Vergleich zu freien Unterkieferbewegungen reproduzierbar (Lehmann und Hellwig, 2002) und starten ausgehend vom Wendepunkt WP nach anterior bei der Protrusion und nach posterior bei der Retrusion, woraus sich Protrusionsbewegungen und Retrusionsbewegungen ergeben (Kubein-Meesenburg, 1985a). Die Bewegungen sind mit den artikulären Führungsflächen der beiden Kiefergelenke und den okklusalen Führungsflächen der Front- oder Seitenzähne gekoppelt (Lehmann und Hellwig, 2002).

Die Bewegungen der Kondylen in der Sagittalebene zeigen schleifenförmige Spuren (Nägerl et al., 1991a). Bei der Mundöffnung gleiten die Kondylen samt Discus articularis auf dem Tuberculum articulare nach ventral und kaudal, wobei die Kondylenmittelpunkte einen flachen, nach kranial konkaven Bogen beschreiben, der als sagittale Kondylenbahn bezeichnet wird (Lehmann und Hellwig, 2002). Beim Kieferschluss fahren die Kondylen nahezu die gleiche Strecke rückwärts ab, also einen flachen, nach kranial konkaven Bogen nach dorsal und kranial bis zum Ausgangspunkt (Lehmann und Hellwig, 2002).

Die Bewegungen des Inzisalpunktes in der Sagittalebene werden in einem zweidimensionalen Posselt-Diagramm beschrieben (Gühring und Barth, 1992). Die habituelle Interkuspidation IKP stellt die maximale Annäherung des Unterkiefers an den Oberkiefer dar, welches die Position 1 in der Abbildung 21 zeigt (Gühring und Barth, 1992). Aus dieser Position kann der Unterkiefer aktiv nach ventral und dorsal bewegt werden (Lehmann und Hellwig, 2002). Dabei gleitet die Inzisalkante des unteren mittleren Inzisivus an der palatinalen Führungsfläche des oberen mittleren Inzisivus in die Position 2, die Kopfbissstellung (Gühring und Barth, 1992). Aus dieser Position kann der Unterkiefer durch weitere Kontraktion der Muskulatur nach anterior bewegt werden in die größtmögliche Vorschubbewegung des Unterkiefers, auch maximale Protrusion genannt, Position 3 in der Abbildung 21 (Gühring und Barth, 1992). Bei etwa 90 Prozent aller Menschen lässt sich der Unterkiefer aus der habituellen Interkuspidation IKP nach dorsal verlagern in die retrale Kontaktposition, Position 4 in der Abbildung 21 (Gühring und Barth, 1992). Reproduzierbare Grenzbewegungen können nur aus den Grenzpositionen der maximalen Protrusion oder der retralen Kontaktposition erfolgen (Lehmann und Hellwig, 2002). Aus der retralen Kontaktposition kann eine reine Scharnierbewegung durchgeführt werden, Position 5 (Gühring und Barth, 1992). Danach geht die Bewegung in eine Dreh-Gleitbewegung über bis zur Position 6, die maximale Mundöffnung, zu der auch von der maximalen Protrusion gelangt werden kann (Gühring und Barth, 1992). Aus der habituellen Interkuspidation verläuft die Mundöffnung in sagittaler Richtung auf einer schwach gekrümmten Linie zur Position 6 (Gühring und Barth, 1992). Auf dieser Linie liegt der Punkt R, an welchem sich der Unterkiefer in der Ruheschwebelage befindet (Gühring und Barth, 1992).

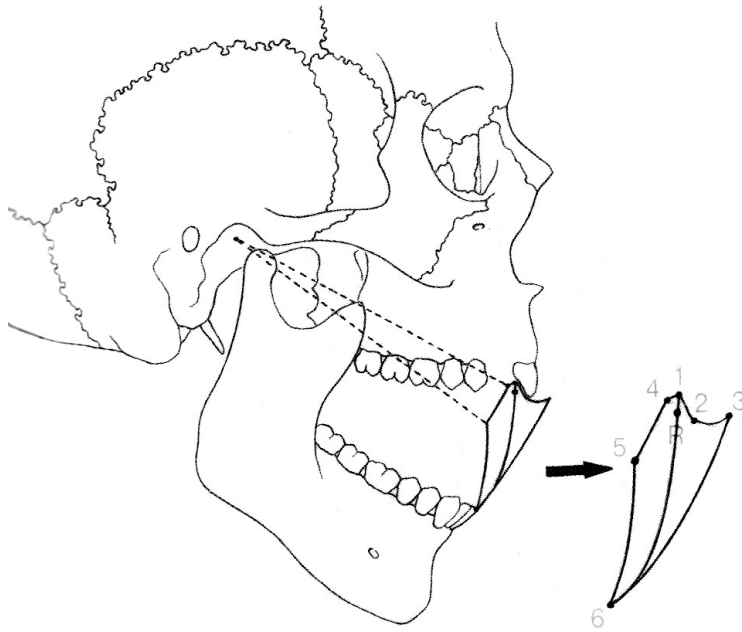


Abb. 21. Posselt-Diagramm:

1 Habituelle Interkuspidation

2 Kopfbissstellung

3 maximale Protrusion

4 retrale Kontaktposition

5 Endpunkt der Scharnierbewegung

6 maximale Mundöffnung

R Ruheschwebelage

(aus W. Gühring und J. Barth, 1992).

Bei der kranialen Grenzbewegung ist somit eine anteriore Führung vorhanden, welche es bei freien Unterkieferbewegungen nicht gibt, weil sie losgelöst von kranialen Führungsstrukturen sind (Lehmann und Hellwig, 2002). Die freien Unterkieferbewegungen sind beim Sprechen, Singen usw. von Bedeutung (Schwestka-Polly et al., 1999). Dabei sind alle Muskeln der Mandibula neuromuskulär gesteuert und treten mit der jeweiligen Gelenkkette in Funktion (Schwestka-Polly et al., 1999). Es ist anzunehmen, dass bei diesen zahlreichen Bewegungsmustern die Gelenke lastenfrei sind und als freier Hebel angesehen werden dürfen (Motsch, 1968a).

Die Bolusfunktion, bei der die Nahrung mit Hilfe der Zunge zwischen die Molaren geschoben wird, nimmt eine Sonderstellung ein (Nägerl et al., 1991b). Das Kräftepaar, bestehend aus dem anterioren Zug des M. pterygoideus lateralis am Condylus und der horizontalen Komponente des M. temporalis, überträgt durch sein Drehmoment durch die Verschiebung

der Lage der kaudal-kranialen Kraftwirkungslinie der übrigen Kaumuskulatur in anterior-posteriorer Richtung Kraft in den Bolus (Nägerl et al., 1991b).

2.3. Messungen der Mandibulabewegungen

Um die räumlichen Bewegungen der Mandibula darstellen zu können, müssen diese mit einem Messgerät aufgenommen werden, welches in der Lage ist, die sechs Freiheitsgrade der Bewegung zu erfassen (Thieme et al., 2006). Nägerl et al. (1991) setzten zunächst das Ultraschall-Messgerät MT1602 (Firma Dr. Hansen & Co., Bonn) ein. Später wurde das verbesserte Ultraschall-Messgerät CMS-JMA (Firma Zebris Medizintechnik, Isny) benutzt (Thieme et al., 2006). Abbildung 22 zeigt das Mess-Prinzip: Der Ultraschall-Sender wurde an den Zähnen der Mandibula befestigt und bestand aus drei Sensoren (Thieme et al., 2006). Auf der Nasenwurzel wurde per Gesichtsbogen der Ultraschall-Empfänger mit vier Sensoren magnetisch befestigt (Thieme et al., 2006). Vor der Messung der Bewegungen wurde eine Eichung im Schlussbiss vorgenommen (Thieme et al., 2006). Drei statische Punkte, linker und rechter Kondylenpunkt sowie der Orbitalpunkt, wurden vom Behandler manuell festgelegt und bildeten zusammen mit dem unteren Inzisalpunkt die Grundlage für das Koordinatensystem, mit dem die zugehörige Software WinJaw die gemessenen Mandibulabewegungen darstellte (Thieme et al., 2006).

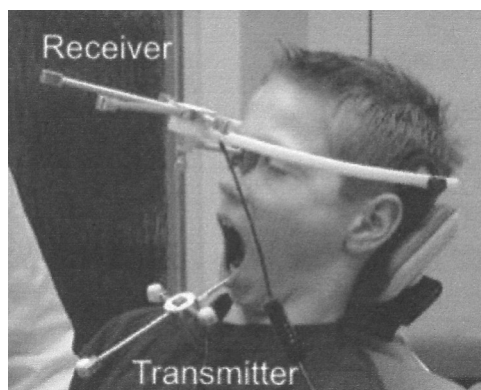


Abb. 22. Ultraschall-Messgerät CMS-JMA (Computer Measurement System for Joint Motion Analysis) der Firma Zebris Medizintechnik (Isny, Deutschland) am jugendlichen Patienten (aus K. M. Thieme et al., 2006).

Da die Festlegung der beiden Kondylenpunkte und damit die horizontale Achse des darstellenden Koordinatensystems durch Ertasten mehr oder weniger willkürlich waren, wurde in der Abteilung Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Göttingen ein eigenes Computerprogramm-Paket entwickelt, um die Mandibulabewegungen zu analysieren (Nägerl

et al., 1991). Aus den gemessenen Bewegungen der beiden Kondylenpunkte und des unteren Inzisalpunktes wurden die zugehörigen Werte für die Translationen in x-, y- und z-Richtung und die Rotationen um die x-, y- und z-Achse berechnet, so dass daraus die Bewegungsspuren jedes beliebigen Punktes berechnet werden konnten (Nägerl et al., 1991). Die Autoren untersuchten 1991 Klasse-I-Patienten. Diese wurden gebeten, ihre Mandibula entlang ihrer Grenzen zu bewegen, so dass der untere Inzisalpunkt P_1 ein Posselt-Diagramm umfuhr (Abb. 21) : aus der habituellen Interkuspitation wurde unter Zahnkontakt der Unterkiefer nach vorn geschoben in die maximale Protrusion, dann maximal geöffnet und rückwärtig geschlossen (Nägerl et al., 1991). Es zeigte sich, dass die Bewegungsspuren im anterioren Bereich (P_2) wie verkleinerte Posselt-Diagramme aussahen und im posterioren Bereich (P_3) die Posselt-Diagramme im umgekehrten Sinn umlaufen wurden (Nägerl et al., 1991). Im Bereich der Kondylen ($x \approx z \approx 0$ cm) verformten sich die Spuren zu Schleifen (P_4 bis P_8) (Nägerl et al., 1991).

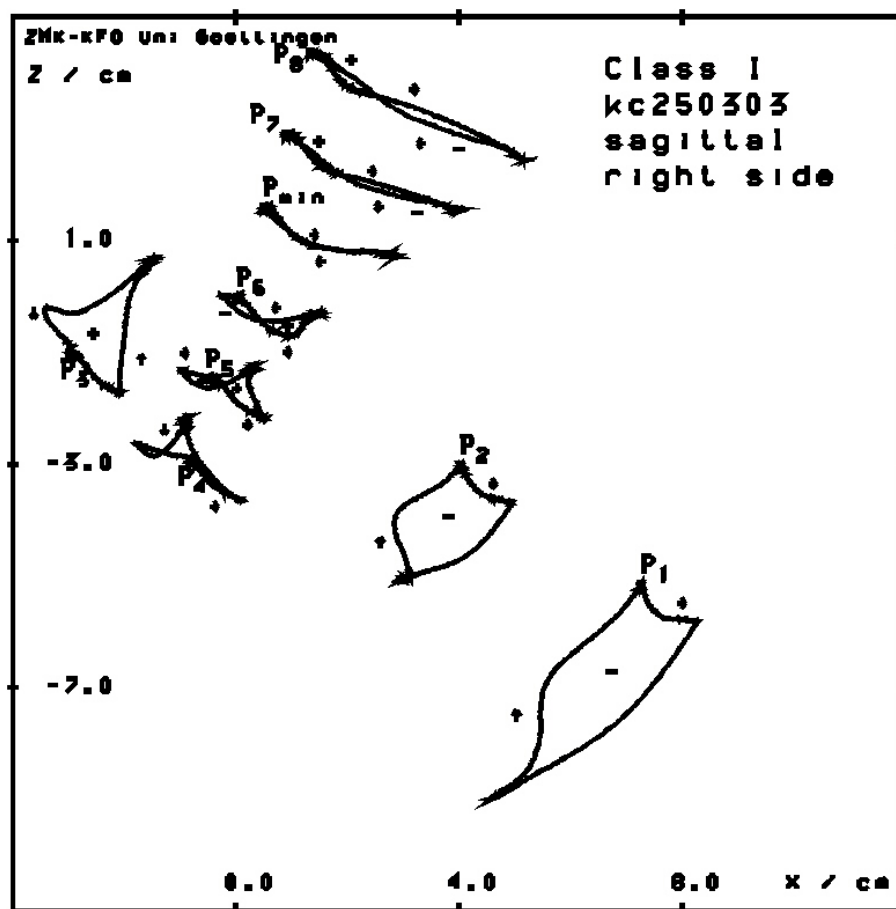


Abb. 23. Bewegungsspuren einzelner Punkte während der Posselt-Bewegung eines Klasse-I-Patienten (gemessen mit dem MT1602): P_1 : unterer Inzisalpunkt, P_2 und P_3 : verkleinerte Posselt-Diagramme, P_4 bis P_8 : schleifenförmige Spuren, P_{min} : Spur mit minimaler Fläche, +: positiver Umlaufsinn, -: negativer Umlaufsinn.

(nach H. Nägerl et al., 1991).

Um die Bewegung der Mandibula wie die einer beweglichen Scharnierachse darstellen zu können, müsste es eine Bewegungsspur geben, deren Punkt sich vorwärts und rückwärts auf der gleichen Bahn bewegt (Nägerl et al., 1991). Tatsächlich fanden Nägerl et al. (1991) diesen Punkt bei allen untersuchten Klasse-I-Patienten: P_{\min} (Abb. 23), dessen umfahrene Fläche nahezu Null war und dessen Spur einen kreisförmigen Bogen beschrieb. Diese besondere Form der Bewegungsspur konnte an einen Kreis angenähert werden (Nägerl et al., 1991). Der Mittelpunkt dieses Kreises stellte die maxillär fixierte Achse dar und P_{\min} die bewegliche mandibulär, fixierte Achse (Nägerl et al., 1991). Zusammen bildeten sie eine neuromuskulär geführte dimere Gelenkkette, deren ebene Bewegung von drei Freiheitsgraden auf zwei reduziert werden konnte (Nägerl et al., 1991).

Die Betrachtung der Flächen der Bewegungsspuren und ihres Umlaufsinnns zeigte, dass die mandibulären Punkte im anterioren Bereich ihre Flächen im Uhrzeigersinn umliefen, was mathematisch einer negativen Fläche entspricht, und im posterioren Bereich die Bewegungen entgegen dem Uhrzeigersinn durchführten, also positive Flächen erzeugten (Nägerl et al., 1999). Dazwischen lag der Bereich mit schleifenförmigen Spuren, die sowohl positive als auch negative Flächenanteile besaßen (Nägerl et al., 1999). In diesem Bereich verlief eine Linie, auf der sich die Punkte befanden, bei denen sich die Flächenanteile der Spuren zu Null addierten (Thieme et al., 2006) (Abb. 24).

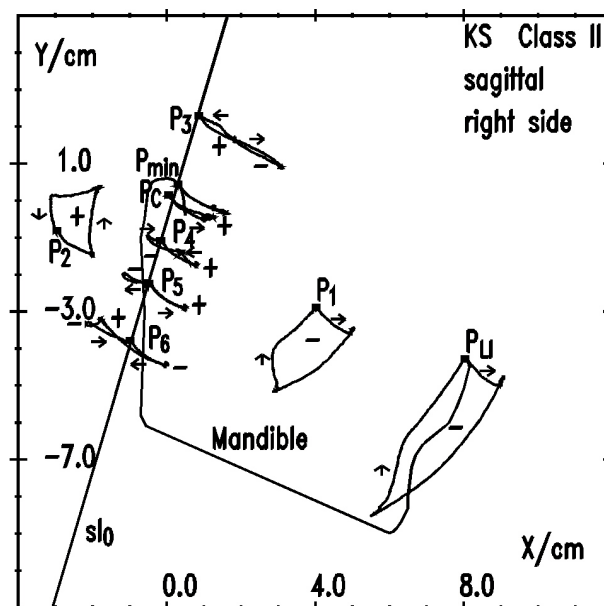


Abb. 24. Bewegungsspuren einzelner Punkte während der Posselt-Bewegung eines Klasse-II-Patienten (gemessen mit dem CMS-JMA): P_{LI} : unterer Inzisalpunkt, P_C : rechter Kondylenpunkt, P_1 und P_2 : verkleinerte Posselt-Diagramme, P_3 bis P_6 : schleifenförmige Spuren, P_{\min} : Spur mit minimaler Fläche. Auf der Geraden sl_0 liegen alle Punkte, deren positive und negative Flächeninhalte sich zu Null addieren (nach K. M. Thieme et al., 2006).

Thieme et al. (2006) konnten zeigen, dass diese Linie in den allermeisten Fällen der bis dahin untersuchten Klasse-I- und Klasse-II-Patienten durch eine Gerade g_0 (im Englischen „straight line sl_0 “) angenähert werden konnte und dass der neuromuskuläre Achspunkt P_{\min} nahe dieser Geraden zu finden war. Die Autoren berechneten für äquidistante Punkte im gleichen Bereich wie in Abbildung 24 die Bewegungsspuren und ihre mathematischen Flächen F_2 (im Englischen „area A_2 “) unter Berücksichtigung des Umlaufsinn und erhielten so im Konturlinien-Plot für diese Flächen parallel verlaufende Geraden (Thieme et al., 2006) (Abb. 25, oberer Teil). Dreidimensional betrachtet ergab sich eine schiefe Ebene (Thieme et al., 2006) (Abb. 25, unterer Teil).

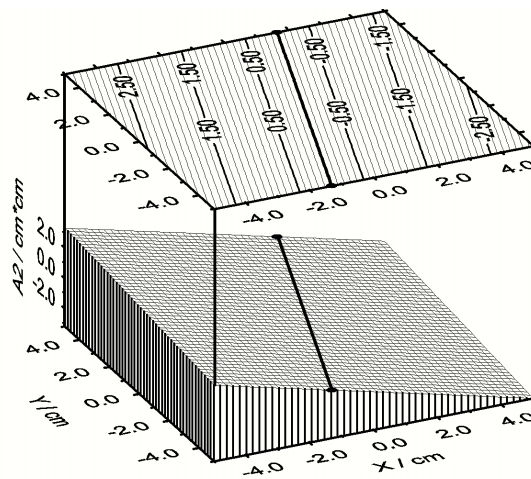


Abb. 25. Für den gleichen Patienten wie in Abbildung 24 wurden für äquidistante Punkte die mathematischen Flächen F_2 bzw. A_2 der Bewegungsspuren berechnet. Der Konturlinienplot (oberer Teil) zeigte parallel verlaufende Geraden mit negativen und positiven Flächen, die, dreidimensional betrachtet, eine schiefe Ebene bildeten (unterer Teil).
(nach K. M. Thieme et al., 2006).

Außerdem berechneten die Autoren für die gleichen äquidistanten Punkte und deren Bewegungsspuren die absoluten Flächen F_1 (im Englischen „area A_1 “) (Thieme et al., 2006). Im Konturlinien-Plot (Abb. 26, oberer Teil) zeigte sich eine Talstruktur mit zwei Minima, durch die meistens die Gerade g_0 verlief (Thieme et al., 2006). Im dreidimensionalen Oberflächen-Plot war die Talstruktur ebenfalls zu erkennen (Thieme et al., 2006) (Abb. 26, unterer Teil).

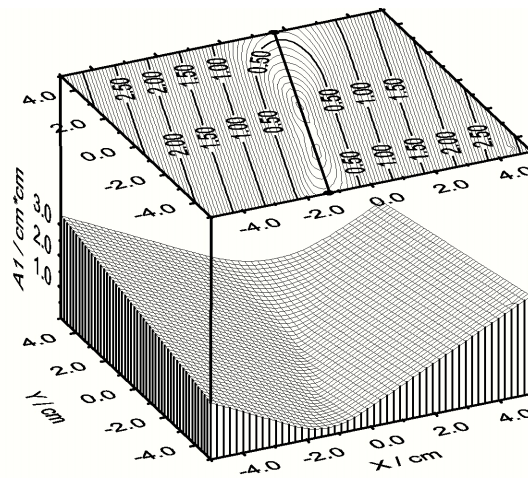


Abb. 26. Für den gleichen Patienten wie in Abbildung 24 wurden für äquidistante Punkte die absoluten Flächen F_1 bzw. A_1 der Bewegungsspuren berechnet. Der Konturlinienplot (oberer Teil) und der Oberflächenplot (unterer Teil) zeigten eine Talstruktur mit zwei Minima. (nach K. M. Thieme et al., 2006).

Berechneten wir entlang der Geraden g_0 für äquidistante Punkte die Flächen F_1 der Bewegungsspuren, wurde nochmals die Lage der zwei Minima deutlich (Thieme et al., 2006) (Abb. 27). Der Punkt P_{\min} umfuhr die kleinste absolute Fläche; sie war fast Null (Thieme et al., 2006). Dieser Punkt bewegte sich bis zur maximalen Mundöffnung vorwärts und beim Mundschließen wieder rückwärts, so dass er den Eigenschaften einer beweglichen Scharnierachse entsprach (Thieme et al., 2006). Unterhalb dieses Punktes P_{\min} fanden Thieme et al. (2006) bei nahezu allen untersuchten Patienten ein zweites Minimum. Dieser Punkt hatte nicht die gleichen Eigenschaften: die Bewegungsspur war nicht kreisförmig, und der Punkt bewegte sich nur vorwärts bis zur maximalen Protrusion, um bei der Mundöffnung schon rückwärts zu laufen (Thieme et al., 2006).

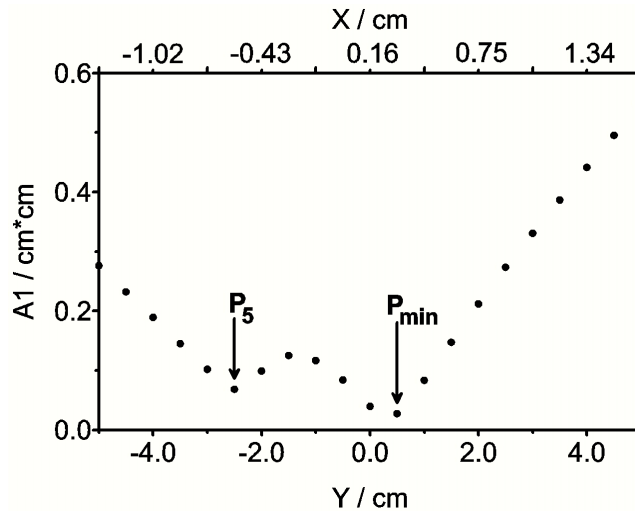


Abb. 27. Auf der Geraden g_0 , auf der die Punkte mit den Bewegungsspuren mit mathematischen Flächen $F_2 = 0$ lagen, hatten die absoluten Flächen F_1 bzw. A_1 unterschiedlich kleine Werte. P_{\min} ist der Punkt mit minimaler Fläche. Unterhalb dieses Punktes (negative y-Werte) fanden Thieme et al. (2006) für die allermeisten Patienten ein zweites Minimum, in diesem Fall Punkt P_5 aus Abbildung 24.

Zusätzlich zu den Flächen der Bewegungsspuren untersuchten Kubein-Meesenburg et al. (2007a) ihre Längen. Die Konturlinien-Plots zeigten für die Punkte mit gleich langen Bewegungsspuren elliptische oder sogar kreisförmige Linien (Kubein-Meesenburg et al., 2007a). Abbildung 28 zeigt einen solchen Konturlinien-Oberflächen-Plot für den gleichen Patienten wie in Abbildung 24. Das Längenminimum L_{\min} lag zwischen dem absoluten Flächenminimum P_{\min} und dem zweiten Flächenminimum P_{NM} (Nebenminimum, im Englischen „second minimum sm“) (Kubein-Meesenburg et al., 2007a).

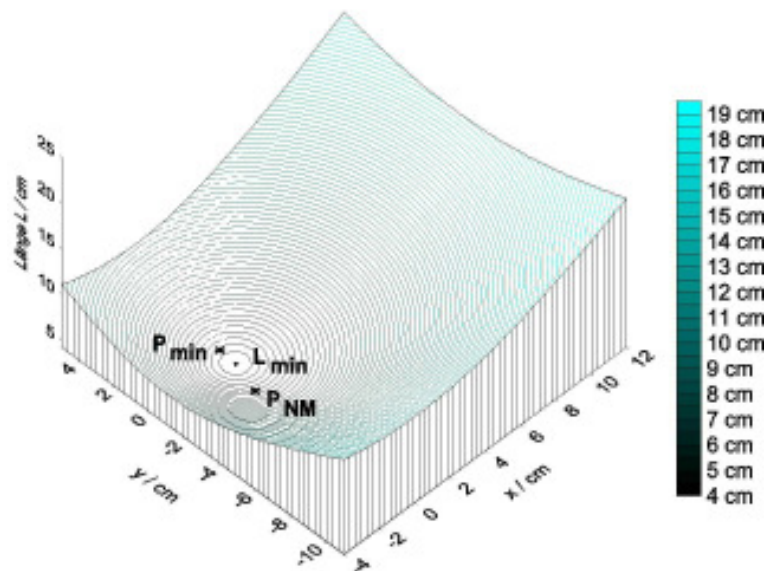


Abb. 28. Für den gleichen Patienten wie in Abbildung 24 wurden für äquidistante Punkte die Längen L der Bewegungsspuren berechnet. Der Konturlinien-Oberflächen-Plot zeigt kreisförmige Linien mit einem Minimum L_{min} zwischen dem absoluten Flächenminimum P_{min} und dem zweiten Flächenminimum P_{NM} (mit freundlicher Genehmigung von K. M. Thieme, 2009).

Um der Frage nachzugehen, wie diese drei besonderen Punkte der Anatomie des Kiefergelenks zuzuordnen sind, überlagerten Kubein-Meesenburg et al. (2007a) die Konturlinien-Plots von einigen Patienten mit ihren FRS-Bildern. Die Punkte mit dem absoluten Flächenminimum P_{min} lagen in der Region des Condylus (s. Kap. 4.2.1.), während die Punkte mit dem zweiten Flächenminimum P_{NM} meistens posterior etwas außerhalb der Mandibula distal des aufsteigenden Astes zu finden waren (s. Kap. 4.2.1.). Das Längenminimum L_{min} lag in allen Fällen anterior der Geraden g_0 zwischen beiden Flächenminima (s. Kap. 4.2.1.). Eine weitere Entdeckung war, dass die Gerade g_0 sich bei vielen Patienten parallel zur Wirbelsäule orientierte (s. Kap. 4.2.1.).

3. Material und Methode

Im Rahmen dieser Dissertation wurde der in Kapitel 2 genannten Fragestellung intensiver nachgegangen und die zur Verfügung stehenden FRS-Bilder von jugendlichen Klasse-II-Patienten mit Konturlinien-Plots aus zeitnah erfolgten Messungen der Mandibulabewegung verknüpft. Teile dieser Auswertung flossen in die Veröffentlichung von Kubein-Meesenburg et al. (2008) und werden im Kapitel 4 vorgestellt und in Kapitel 5 diskutiert. Es handelt sich um eine Zusammenarbeit zwischen den kieferorthopädischen Abteilungen Regensburg und Göttingen.

3.1. Material

3.1.1. Ebene Mandibulabewegungen und Fernröntgenseitenbilder (FRS-Bilder)

Im Rahmen einer Langzeit-Studie wurden bei 42 jugendlichen Klasse-II-Patienten zwischen 2002 und 2008 im Verlauf ihrer funktionskieferorthopädischen (FKO-) Therapie Mandibulabewegungen gemessen. Diese wurden mit dem Ultraschall-Messgerät CMS-JMA der Firma Zebris Medizintechnik (Isny, Deutschland), wie in Kapitel 2.3. und bei Thieme et al. (2006) beschrieben, aufgezeichnet und mit dem in der Abteilung Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Göttingen entwickelten Computerprogramm-Paket ausgewertet. Sieben Patienten wurden dort behandelt; von den übrigen 35 Patienten wurden die Mandibulabewegungen in der kieferorthopädischen Praxis von Prof. Dr. Ihlow in Bad Schwartau gemessen.

Zu Beginn der FKO-Therapie waren die 28 Mädchen und 14 Jungen zwischen 9,3 und 14,3 Jahren alt, was einem Mittelwert von $11,1 \pm 1,1$ Jahren entspricht. Alle Patienten hatten eine Distalbissokklusion in der Norma lateralis von mindestens einer halben Prämolarenbreite. Um die Neutralbisslage wieder herstellen zu können, wurden 23 Patienten (15 Mädchen und acht Jungen) mit einem Aktivator und 19 Patienten (13 Mädchen und sechs Jungen) mit Vorschubdoppelplatten behandelt. Alle Patienten wurden gebeten, ihre FKO-Geräte 16 Stunden am Tag zu tragen. Die mittlere Behandlungsdauer mit den FKO-Geräten betrug $2,2 \pm 0,9$ Jahre.

Bei 18 Mädchen und zwölf Jungen wurden am Beginn der FKO-Therapie Messungen der Mandibulabewegungen durchgeführt, dann fortlaufend alle sechs Monate bis zum Ende der FKO-Behandlung und, wenn möglich, mindestens ein Jahr nach Ende der Therapie, um zu sehen, ob das Therapieziel stabil blieb. Bei zehn Mädchen und zwei Jungen fanden nur

unregelmäßig Messungen während der FKO-Therapie und ein Jahr nach Therapie-Ende statt. Auf diese Weise standen insgesamt 188 Messungen der Mandibulabewegungen zur Verfügung.

Im Verlauf der FKO-Therapie wurden von den 42 Patienten jeweils ein bis drei FRS-Bilder angefertigt. Das jeweilige Aufnahmedatum der FRS-Bilder wurde mit dem Datum der Messungen der Mandibulabewegungen des jeweiligen Patienten verglichen. Für die Untersuchungen im Rahmen dieser Dissertation wurden elf FRS-Bilder von sieben Patienten aus der Abteilung Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Göttingen und 40 FRS-Bilder von 34 Patienten aus der Praxis von Prof. Dr. Ihlow ausgewählt. Von einem Patienten aus der Langzeitstudie aus der Praxis Prof. Dr. Ihlow standen die FRS-Bilder nicht zur Verfügung. 69 Messungen der Mandibulabewegungen waren zeitnah genug zu den Aufnahmen der 51 FRS-Bilder, um in die vergleichende Studie im Rahmen dieser Dissertation aufgenommen zu werden, womit 69 FRS-Konturlinienplot-Überlagerungen erstellt wurden. Die zeitlichen Differenzen betrugen Null Tage bis 17 Monate.

3.2. Methode

3.2.1. Auswertung der FRS-Bilder

Für die Auswertung der FRS-Bilder stand in der Abteilung Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Göttingen die Diagnostiksoftware *fr-win-professional* der Firma *computer konkret dental software* zur Verfügung. Mit dieser Software ist eine Analyse von seitlichen und frontalen Fernröntgenbildern, Fotos, Modellen und Handröntgenaufnahmen möglich. Im Standard-Lieferumfang gibt es mehr als 80 Analysen für die FRS-Bilder. Für die im Rahmen dieser Dissertation ausgewerteten FRS-Bilder wurde die kephalometrische Fernröntgenanalyse modifiziert nach Hasund (1974) gewählt.

Das FRS-Bild wurde mittels eines Scanners in das Programm eingefügt und konnte dort dem Patienten zugeordnet und ausgewertet werden, wobei die Beziehung des Gehirnschädels zum Gesichtschädel untersucht wurde sowie die Lage der einzelnen Bauelemente des Gesichtschädels zueinander und schließlich der Bau und die Einordnung des dentoalveolären Systems in diesem. Für die Auswertung am PC wurden mit Hilfe der Software *fr-win-professional* die notwendigen Punkte in vorgegebener Reihenfolge in dem eingescannten FRS-Bild manuell markiert. Nach der Eingabe der Punkte erstellte die Software die Werte aus der modifizierten Analyse nach Hasund (1974) und aus der biomechanischen

[illegible]

Nach der Auswertung der 51 FRS-Bilder mit allen Referenzpunkten und -linien mit der Software *fr-win-professional* der Firma *computer konkret dental software* wurde die Auswertung der 51 FRS-Bilder noch einmal wiederholt, um Differenzen bei der manuellen Punktbeschriftung einer auswertenden Person untersuchen zu können. Für die statistischen Datenerhebungen wurden alle Auswertungen des zweiten, ausgewerteten Durchlaufs gewählt, da davon ausgegangen werden kann, dass die zu markierenden Punkte auf Grund der Gewöhnung an das Auswerteschema und den Umgang mit dem Computerprogramm noch besser markiert wurden. Insgesamt gibt es 102 FRS-Auswertungen.

47

Interesse waren dabei der Sellamittelpunkt S, der Nasionpunkt N, der Punkt der Spina nasalis anterior Spa, der Pterygomaxillarepunkt Pm, der Gnathionpunkt Gn sowie der Unterrand der Mandibula UM, da aus ihnen die Winkel ML-NL, ML-NSL und NL-NSL (Abb. 15) abgeleitet werden (s. Kap. 2.1.6.).

Von den Parametern ML-NL, ML-NSL und NL-MSL aller 102 FRS-Auswertungen wurde jeweils der Normwert, der Mittelwert, der Medianwert, der minimale Winkel, der maximale Winkel, die Differenz zwischen dem minimalen und maximalen Winkel und die Standardabweichung bestimmt. Ebenso wurden der Mittelpunkt S der Sella turcica, der Nasionpunkt N, der Spina nasalis anterior-Punkt Spa, der Pterygomaxillarepunkt Pm, der Gnathionpunkt Gn und der Unterrand der Mandibula UM auf eindeutige, reproduzierbare Auffindbarkeit geprüft, was von Bedeutung für die Auswertung der Parameter ML-NL, ML-NSL und NL-NSL war.

3.2.2. Die anatomischen Strukturen in den FRS-Bildern

Die für diese Studie relevanten Umriss der anatomischen Strukturen im FRS-Bild wurden auf eine Folie übertragen (Abb. 30a und b). Zu diesen Umrissen gehörten die Kontur der Weichteile des Gesichtes, der Nasion-Punkt N, die Sella turcica und ihr Mittelpunkt, die Orbitahöhle, die anteriore, knöcherne Kontur des Gesichtsschädels unterhalb der Orbitahöhle bis zur Spina nasalis anterior, der Condylus und sein Mittelpunkt, der Unterkiefer, die Inzisiven und Molaren vom Ober- und Unterkiefer, die Wirbelsäule und der Clivus (Abb. 30b). Die Folie mit der Umrisszeichnung diente zur Überlagerung der knöchernen Strukturen auf dem entsprechenden Konturlinien-Plot der ausgewerteten Messung der Mandibulabewegung.



Abb. 30a. FRS-Bild der Patientin TS zum Zeitpunkt 0106 mit markiertem Orbitalpunkt.

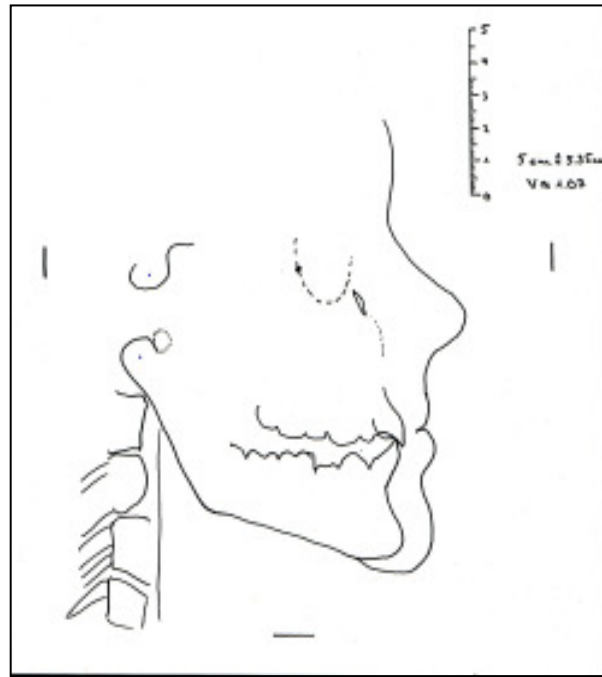


Abb. 30b. Entsprechende Umrissfolie der Patientin TS zum Zeitpunkt 0106.

Außerdem wurde die Maßstabsmarkierung des FRS-Bildes auf die Folie übernommen und vermerkt, wie viel Zentimeter die angezeigten 5 cm auf dem FRS-Bild entsprachen. Daraus wurde der Vergrößerungsfaktor berechnet.

Bei drei Patienten konnten die Messungen der Mandibulabewegungen am gleichen Tag erfolgen wie die Erstellung des FRS-Bildes. Bei ihnen wurden vor der Aufnahme des FRS-Bildes der Orbitalpunkt und der rechte Kondylenpunkt, die bei der Messung der Mandibulabewegungen als statische Punkte festgelegt wurden, mit einem röntgenopaken Stift auf der Haut markiert, um später die Zuordnung im FRS-Bild zu ermöglichen. Während der Orbitalpunkt gut auf den FRS-Bildern wiederzufinden war, ließ sich der rechte Kondylenpunkt nicht identifizieren, da sich in diesem Gebiet der Condylus, die Wirbelsäule und die Schädelbasis überlagern.

3.2.3. Auswertung der Mandibulabewegungen

Die in Kapitel 3.1.1. erwähnte Auswertung der Mandibulabewegungen mit dem in der Abteilung Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Göttingen entwickelten Computerprogramm-Paket wurde von Frau Dr. Thieme durchgeführt und umfasste die Ermittlung des neuromuskulären Achspunktes P_{\min} , der eine minimale absolute Fläche F_1

umfährt, den Punkt P_{NM} des zweiten (Neben-)Minimums der absoluten Fläche F_1 sowie den Punkt L_{min} , den Punkt der kürzesten Bewegungsspur (s. Kap. 2.3.). In einem 16 mal 16 cm² großen Raster wurden für äquidistante Punkte die Bewegungsspuren und ihre mathematischen und absoluten Flächen, F_2 und F_1 , sowie ihre Längen L berechnet und in einem Konturlinien-Plot mit der Plot-Software SURFER dargestellt. Die Gerade g_0 , auf der die Punkte mit den mathematischen Flächen $F_2 = 0$ liegen, wurde besonders hervorgehoben. Im Konturlinien-Plot wurden außerdem die Punkte P_{min} , P_{NM} und L_{min} eingetragen und die Positionen der drei statischen Punkte unterer Inzisalpunkt P_{IP} , rechter Kondyluspunkt P_K und Orbitalpunkt OP , die vor der Messung festgelegt wurden, im Plot markiert.

Die Abbildungen 31 und 32 a bis d zeigen exemplarisch für die Patientin TS und ihre Messung TS0106 eine Auswahl an Bewegungsspuren samt Umlaufsinn und Vorzeichen der mathematischen Fläche F_2 im 16 mal 16 cm² Bereich sowie die entsprechenden Konturlinien-Plots für die mathematischen (a) und absoluten (b) Flächen sowie die Längen (c). In Abbildung 32d wurden die Flächen und Längen in einem Plot zusammen gefügt und die Umrisslinien der Sella Turcica und der Orbita zur besseren Orientierung eingezeichnet. Die grünen Karos sind die Punkte mit minimalen Längen auf den Geraden parallel zur Geraden g_0 . Sie lagen bei dieser Patientin im Bereich der Maxilla.

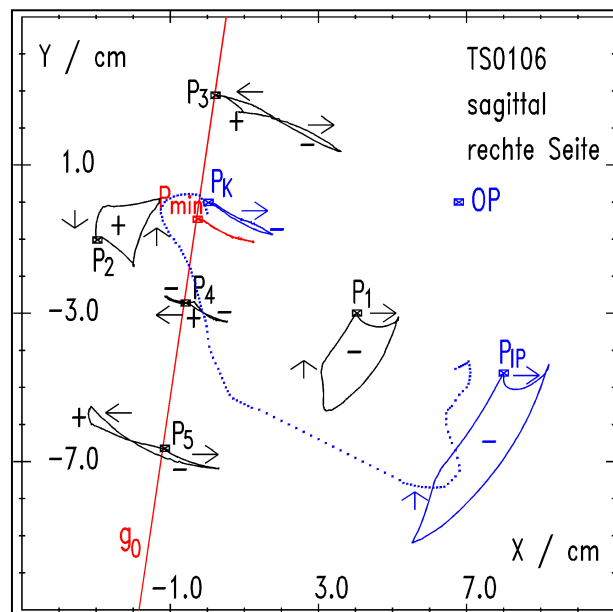


Abb. 31. Messung TS0106: Bewegungsspuren einzelner Punkte während der Posselt-Bewegung einer Klasse-II-Patientin (gemessen mit dem CMS-JMA): P_{IP} : unterer Inzisalpunkt, P_K : rechter Kondylenpunkt, P_1 und P_2 : verkleinerte Posselt-Diagramme, P_3 bis P_5 : schleifenförmige Spuren, P_{min} : Spur mit minimaler Fläche. Auf der Geraden g_0 liegen alle Punkte, deren positive und negative Flächeninhalte sich zu Null addieren. Zur besseren Orientierung wurde der Umriss der Mandibula aus dem FRS-Bild hinzugefügt sowie die Position des Orbitalpunktes OP (mit freundlicher Genehmigung von K. M. Thieme, 2009).

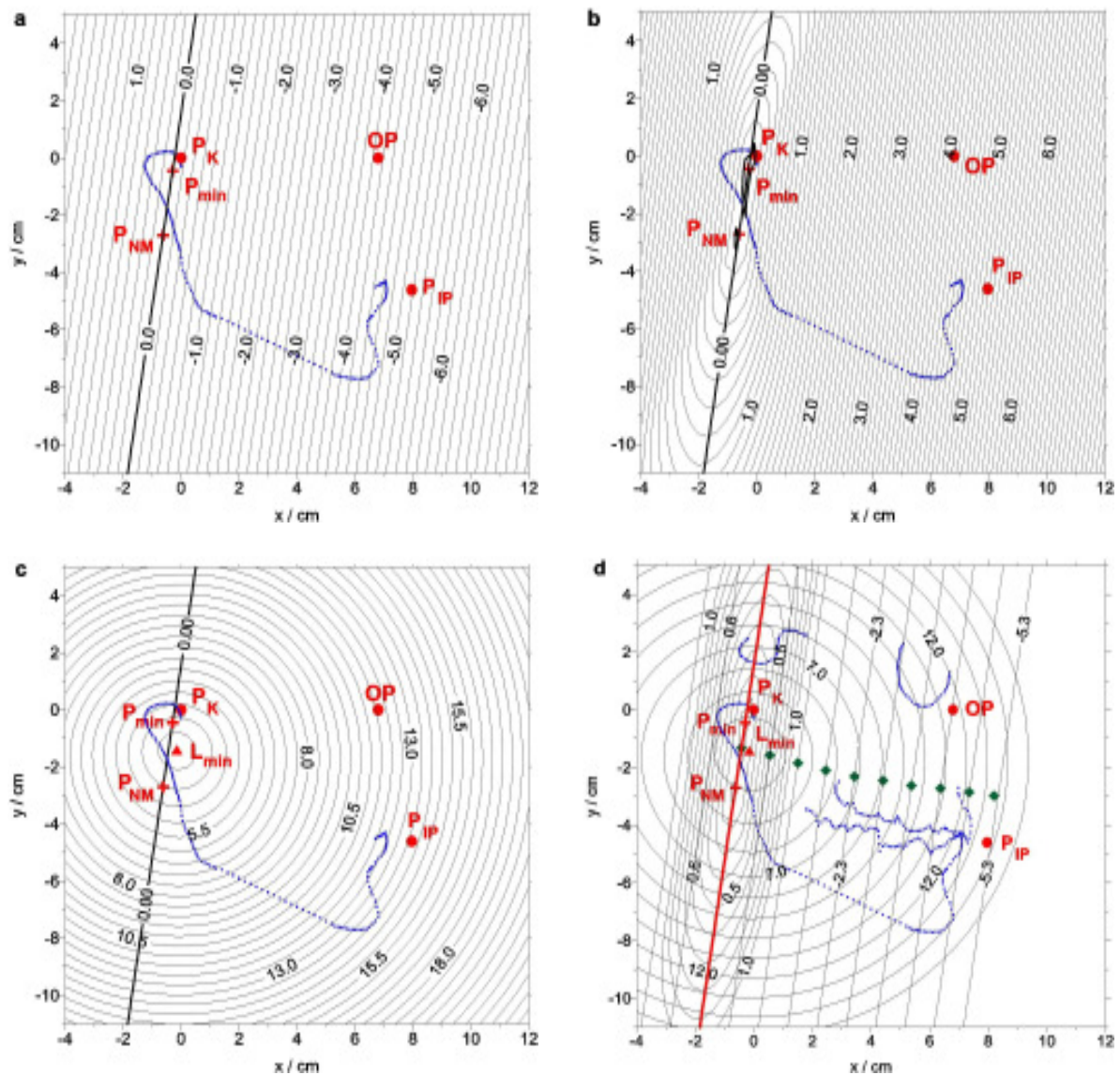


Abb. 32 a-d. Messung TS0106: Für äquidistante Punkte wurden die Bewegungsspuren und ihre mathematischen (a) und absoluten (b) Flächen sowie ihre Längen (c) berechnet. In (d) wurden die Flächen und Längen in einem Plot zusammen gefügt und zusätzlich zu der Umrisslinie der Mandibula die Umrisslinien der Sella turcica und der Orbita zur besseren Orientierung eingezeichnet. Die grünen Karos sind die Punkte mit minimalen Längen auf den Geraden parallel zur Geraden g_0 (mit freundlicher Genehmigung von K. M. Thieme, 2009).

Die Abbildung 33 zeigt die Kombination von FRS-Bild, Umriss-Folie und Konturlinien-Plot für die Messung TS0106. Der vor der Erstellung des FRS-Bildes für die Messung markierte Orbitalpunkt OP konnte direkt zugeordnet werden.

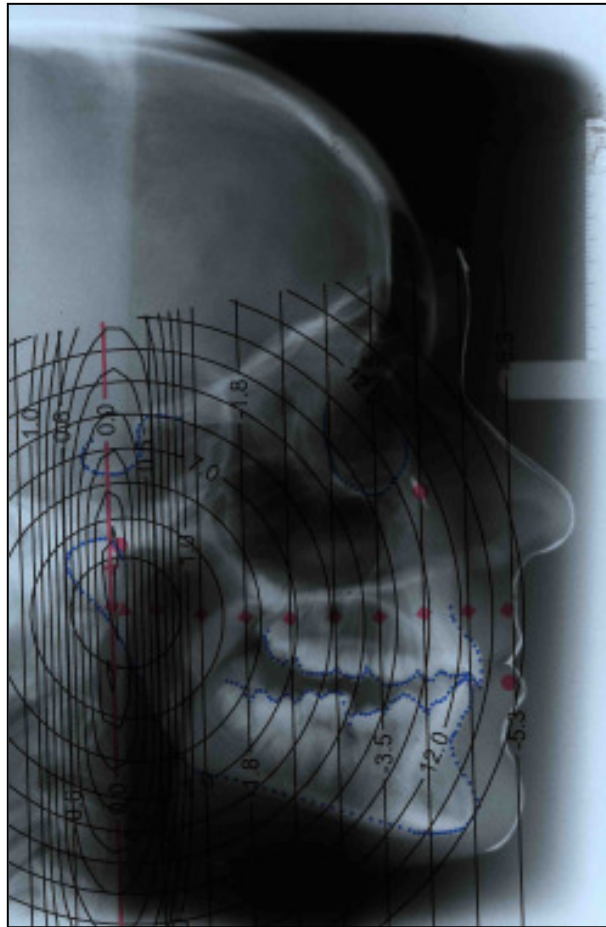


Abb. 33. Kombination von FRS-Bild, Umriss-Folie und Konturlinien-Plot für die Messung TS0106. Der vor der Erstellung des FRS-Bildes für die Messung markierte Orbitalpunkt OP konnte direkt zugeordnet werden (mit freundlicher Genehmigung von K. M. Thieme, 2009).

Die Punkte P_{\min} , P_{NM} und L_{\min} , sowie die Gerade g_0 und die Lage der Halswirbelsäule sind im Rahmen dieser Dissertation für spätere Auswertungen von Bedeutung und werden in den Kapiteln 3.2.5. und 3.2.6. wieder aufgegriffen.

3.2.4. Überlagerung von FRS-Bild und Konturlinien-Plot

Um die Umriss-Folie des FRS-Bildes eines Patienten mit dem zeitlich dazugehörigen Konturlinien-Plot zu überlagern, musste der Maßstab des Plots an den Maßstab des jeweiligen FRS-Bildes angepasst werden. Hierbei muss erwähnt werden, dass bei der Erzeugung der FRS-Bilder der Universitätsmedizin Göttingen der Abstand der aufrecht sitzenden Patienten von der Röntgenquelle 1,34 m betrug, während in der Praxis von Prof. Dr. Ihlow in Bad Schwartau die Patienten standen und 1,5 m von der Röntgenquelle entfernt waren. Der unterschiedliche Abstand der Patienten zur Röntgenquelle hatte verschiedene Vergrößerungsfaktoren zur Folge (Kap. 2.1.6., Abb. 13). Er lag zwischen 7% und 13%, je nachdem, ob das FRS-Bild des Patienten in Göttingen oder in Bad Schwartau produziert wurde. Außerdem spielt die Kopfgröße des Patienten eine Rolle: bei einem größeren Kopf befinden sich die Gesichtsmitte und die Fotoplatte minimal weiter entfernt von der Röntgenquelle.

Der berechnete Vergrößerungsfaktor $V = \frac{d}{d - d_1} = \frac{d_1 + d_2}{d_2}$ bezieht sich nur auf die

Gesichtsmitte, wo sich die Maßstabsmarkierung befindet. Alle anderen Strukturen werden im Röntgenbild in Abhängigkeit vom Abstand zum Zentralstrahl (radiale Abweichung vom

Zentralstrahl: $\tan \alpha = \frac{x}{d_2}$) und zur Gesichtsmitte unterschiedlich stark vergrößert

(Abweichung x' auf dem Röntgenfilm im Vergleich zur Gesichtsmitte: $x' = d_1 \times \tan \alpha$

bzw. $x' = d_1 \frac{x}{d_2} = \frac{d_1}{d_2} x$), was bei der Überlagerung der gemessenen statischen Punkte auf das

FRS-Bild berücksichtigt werden musste. Die Abweichung x' auf dem Röntgenfilm im

Vergleich zur Position auf dem Zentralstrahl (z-Achse) lautet: $x' = \frac{d_1 - z}{d_2 + z} x$.

Da der Inzisalpunkt P_{IP} in der Ebene der Gesichtsmitte liegt, muss bei der Projektion dieses Punktes nur die radiale Abweichung des Röntgenstrahls beachtet werden. Der Orbitalpunkt OP ist der kaudalste Punkt am unteren, knöchernen Rand der Orbita und liegt nicht in der Gesichtsmitte. Zumeist wurde er vor der Messung auf der rechten Gesichtshälfte markiert, lag also näher an der Fotoplatte als die Gesichtsmitte. Ähnliches gilt für den rechten Kondylenpunkt P_K . Er liegt zwar nicht in der Gesichtsmitte, jedoch nahe dem Zentralstrahl und sehr nahe an der Fotoplatte.

Am Beispiel der Patientin TS betrug beim FRS-Bild die Vergrößerung $V=1,08$ und der Abstand vom Fokus zur Gesichtsmitte $d_2 = 1,34m$ im Klinikum Göttingen.

$$V = \frac{d_2 + d_1}{d_2} \Leftrightarrow d_2 \times V - d_2 = d_1 \Leftrightarrow d_2(V - 1) = d_1$$

Somit ergab sich für $d_1 = 0,1072m$. Da die halbe Kopfbreite von der Patientin TS $0,074m$ war, betrug der Abstand vom Gesicht zum Röntgenfilm ungefähr $0,03m$.

Für die Punkte P_K , P_{IP} und OP gelten die Werte in der folgenden Tabelle 1:

Tab. 1. Beispielrechnung anhand der Patientin TS für die Abweichung der Punkte P_K , IP und OP auf dem FRS-Bild.

Punkt	Abstand Zentralstrahl – Punkt in Ebene Gesichtsmitte	radiale Verschiebung $x' = \frac{d_1}{d_2} x / cm$	Position auf z-Achse ($z = 0 =$ Gesichtsmitte) in cm	wirkliche radiale Verschiebung $x' = \frac{d_1 - z}{d_2 + z} x$
P_K	5,1 cm	0,41	7,4	0,12
IP	6,6 cm	0,53	0,235	0,52
OP	2,3 cm	0,18	3,48	0,12

Die gemessenen Punkte vom Konturlinien-Plot konnten nun aber nicht direkt unter Berücksichtigung der bekannten Vergrößerung auf das FRS-Bild projiziert werden, da die Vergrößerung nur exakt für die Gesichtsmitte gilt, also beispielsweise für den Inzisalpunkt P_{IP} . Bei der Patientin TS ist die radiale Abweichung des rechten Kondylenpunktes P_K , der sich nahe des FRS-Bildes befindet, genauso groß wie die vom Infraorbitalpunkt OP , obwohl der Kondylenpunkt P_K weiter vom Zentralstrahl entfernt war. In der Abbildung 34 wurde auf dem maßstabsgetreuen Konturlinien-Plot der Patienten TS die Verschiebung geprüft. Der rote Punkt kennzeichnet den Zentralstrahl. Die wirkliche radiale Verschiebung des Kondylenpunktes P_K verlagerte sich im Konturlinien-Plot somit um $0,12$ cm nach links unten, die des Orbitalpunktes OP ebenfalls um $0,12$ cm nach rechts unten und die des Inzisalpunktes P_{IP} deutlich um $0,52$ cm nach unten und vorn.

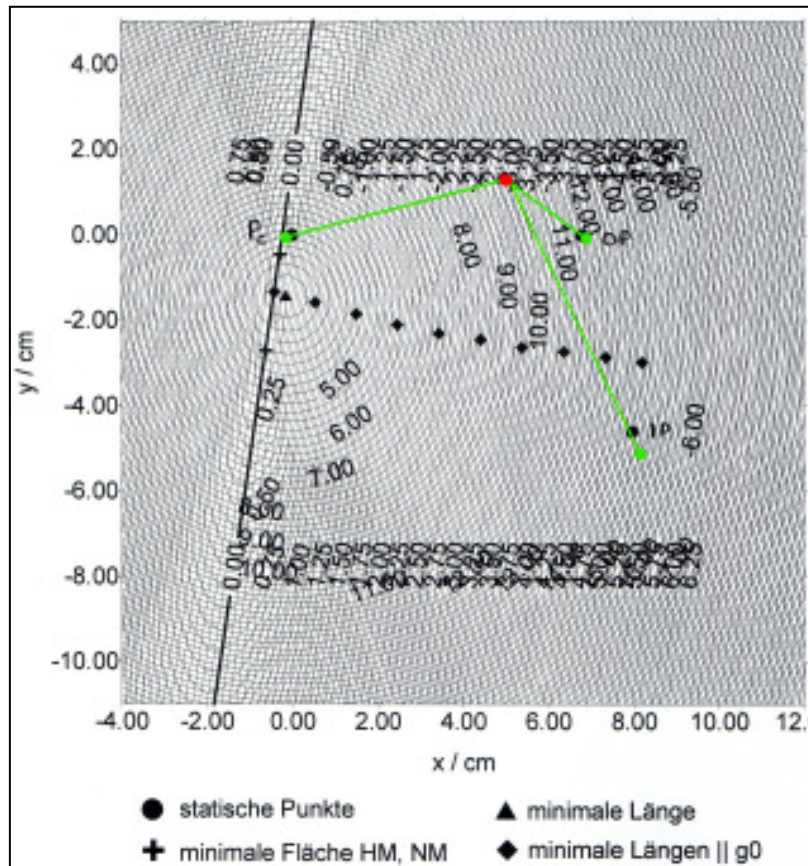


Abb. 34. Prüfung der Verschiebung für die Patientin TS, maßstabsgetreu; roter Punkt = Zentralstrahl, grüne Linien = Abweichung vom Zentralstrahl, grüne Punkte = Verschiebung der Punkte P_{IP} , P_K und OP .

In der Abbildung 35 wurden die Konturen aus dem FRS-Bild der Patientin TS mit einer Vergrößerung von $V=1,08$ auf den maßstabsgetreuen Konturlinien-Plot übertragen. Bei dieser Patientin wurden der Orbitalpunkt OP und der Kondylenpunkt P_K mit einem röntgenopakem Stift markiert. Nach der wirklichen, radialen Verschiebung der Punkte P_K und OP lagen diese in dem Bereich der röntgenopaken Markierung. Der Inzisalpunkt P_{IP} , gemessen vom Mittelpunkt des Inzisalpunktes P_{IP} , lag sieben Millimeter vor der stärksten Krümmung des unteren, mittleren Inzisivus und unterhalb des oberen, mittleren Inzisivus. Nachdem der Maßstab des Konturlinien-Plots dem Maßstab des FRS-Bildes angepasst worden war, lagen nun die Punkte P_K und OP des Konturlinien-Plots im Bereich der röntgenopaken Markierung und der Mittelpunkt des Inzisalpunktes P_{IP} sieben Millimeter vor der stärksten Krümmung des unteren, mittleren Inzisivus und unterhalb des oberen, mittleren Inzisivus (Abb. 36).

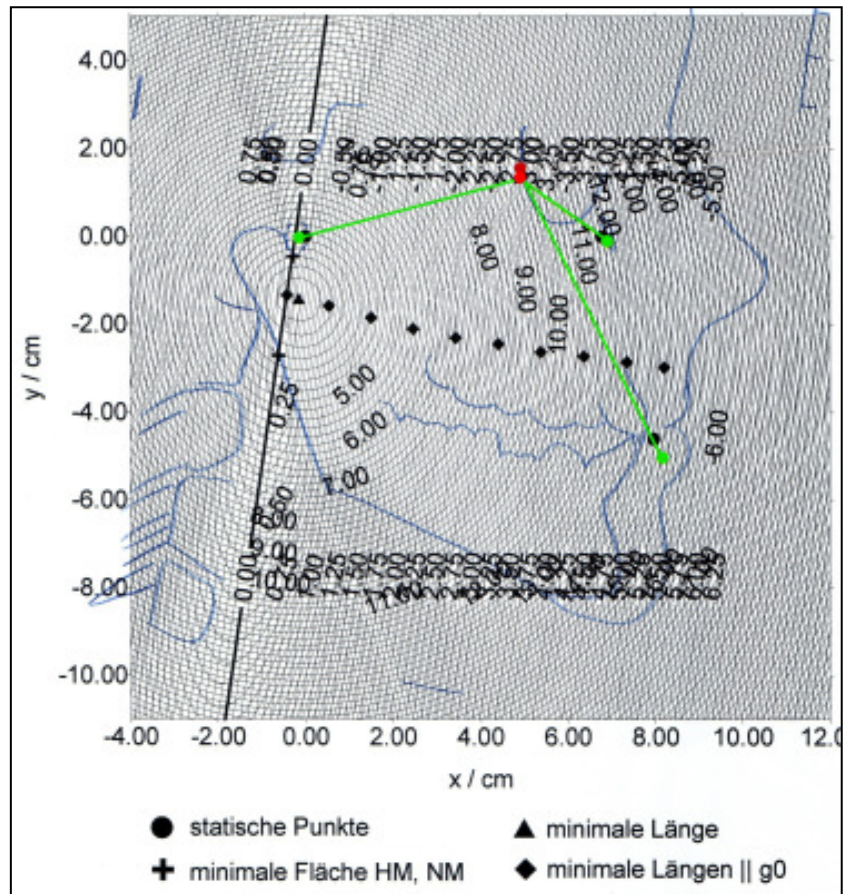


Abb. 35. Prüfung der Verschiebung für die Patientin TS, maßstabsgetreu, inklusive Konturen aus dem FRS-Bild, $V = 1,08$, roter Punkt = Zentralstrahl, grüne Linien = Abweichung vom Zentralstrahl, grüne Punkte = Verschiebung der Punkte P_{IP} , P_K und OP , blau = Konturen aus dem FRS-Bild.

Der Kondylenpunkt P_K musste für die Markierung vor der Messung ertastet werden, was sehr schwierig war, da der Condylus in der Ausgangsposition am Wendepunkt von der Fossa articularis zur Protuberantia liegt und der Arcus zygomaticus ein genaues Ertasten verhindert. Zudem sollte der Kondylenpunkt P_K den Mittelpunkt des Condylus darstellen, der am Patienten aus anatomischen Gründen nicht markiert werden kann. Durch die anatomische Gegebenheit und der damit verbundenen Schwierigkeit beim möglichst exakten Markieren des Kondylenpunktes P_K traten starke Lagebestimmungsschwankungen auf, weswegen dieser Punkt nur bedingt als Referenzpunkt beim Überlagern der Konturlinien-Plots mit den FRS-Bildern herangezogen werden konnte.

Bei der Überlagerung der Umriss-Folie auf den dazugehörigen Konturlinien-Plot wurde die Folie auf dem Konturlinien-Plot so verschoben, dass der Mittelpunkt des Inzisalpunktes P_{IP} des Konturlinien-Plots sieben Millimeter vor der stärksten Krümmung der Labialfläche des unteren Inzisivus und unterhalb des oberen Inzisivus des FRS-Bildes zu liegen kam. Der Orbitalpunkt OP lag dann auf der anterioren, knöchernen Kontur des Gesichtschädels unterhalb der Orbitahöhle. Nach dem Ausrichten von Orbitalpunkt OP und Inzisalpunkt P_{IP} befand sich der rechte Kondylenpunkt P_K des Konturlinien-Plots im Idealfall im Bereich des Condylus des FRS-Bildes.

Da es sich bei dieser Studie um Auswertungen an Jugendlichen in der Pubertät handelte, sollten das Aufnahmedatum des FRS-Bildes und der dazu gehörige Konturlinien-Plot zeitlich nicht zu weit auseinander liegen, weil sich die Kieferverhältnisse durch das Wachstum verändern (Kap. 2.1.1.). Da im Oberkiefer ein vertikales Wachstum stattfindet, verbreitern sich bis zum Ende der Pubertät die Alveolarfortsätze und nehmen in der Höhe zu. Der Oberkiefer verlagert sich nach mesiokaudal, wobei gleichzeitig die Maxilla durch Expansion der mittleren Schädelgrube passiv im Raum verlagert wird (Kahl-Nieke, 2001). Beim Unterkiefer kommt es im selben Zeitraum zu einer Abnahme des Kieferwinkels (Dausch-Neumann, 1985), Längenzunahme bei weniger Breitenentwicklung, Vergrößerung und Ausformung des Kiefergelenks und Höhenzunahme des Corpus mandibulae. Durch das intensive Wachstum des Gelenkfortsatzes resultiert die Höhenzunahme der aufsteigenden Äste, welche eine kaudoventrale Verlagerung des Unterkiefers bewirkt (Kahl-Nieke, 2001). Je größer also der zeitliche Abstand zwischen FRS-Bild und dem dazu gehörigen Konturlinien-Plot war, desto schwieriger gestaltete sich die Überlagerung der Umriss-Folie mit dem dazu gehörigen Konturlinien-Plot. Im Idealfall wurden das FRS-Bild und die Messungen der Mandibulabewegungen von einem Patienten am gleichen Tag erstellt, wie in Abbildung 33 für die Messung TS0106 dargestellt. In dieser Studie gab es zeitliche Differenzen von Null

Tagen bis 17 Monaten mit einem Mittelwert von 1,7 Monaten und einer Standardabweichung von 5,7 Monaten.

3.2.5. Einführung eines neuen Koordinatensystems

Durch die Überlagerung eines Konturlinien-Plots mit dem zugehörigen FRS-Bild gab es erstmals eine Möglichkeit, die speziellen Punkte aus der Auswertung der Mandibulabewegung (absolutes Flächenminimum P_{\min} , zweites Flächenminimum P_{NM} und Längenminimum L_{\min}) den anatomischen Strukturen zuzuordnen. Um die Überlagerungen für verschiedene Patienten mit unterschiedlichen Vergrößerungen und verschiedenen Zeitpunkten vergleichbar zu machen, wurde ein neues Koordinatensystem erstellt. Ausgangspunkt war die Nasion-Sella-Linie, die durch den Mittelpunkt der Sella turcica und durch den Nasion-Punkt N geht (s. Kap. 2.1.6., Abb. 15). Die Nasion-Sella-Linie wurde parallel nach unten durch den Mittelpunkt des Condylus verschoben. Diese Achse stellte die neue horizontale Achse dar. Die Senkrechte durch den Kondylenmittelpunkt bildete die neue vertikale Achse. Somit repräsentierte der Kondylenmittelpunkt den neuen Ursprung (Abb. 37). Mit Hilfe dieses neuen Koordinatensystems konnte nun die Lage der oben genannten Punkte ermittelt werden. Die Position der Punkte wurde in Zentimetern und Millimetern bzgl. des neuen Ursprungs ausgemessen und entsprechend der jeweiligen Vergrößerung auf den Maßstab 1:1 zurückgerechnet. So konnten alle Punkte aller ausgewerteten Überlagerungen in ein gemeinsames Diagramm eingetragen werden.

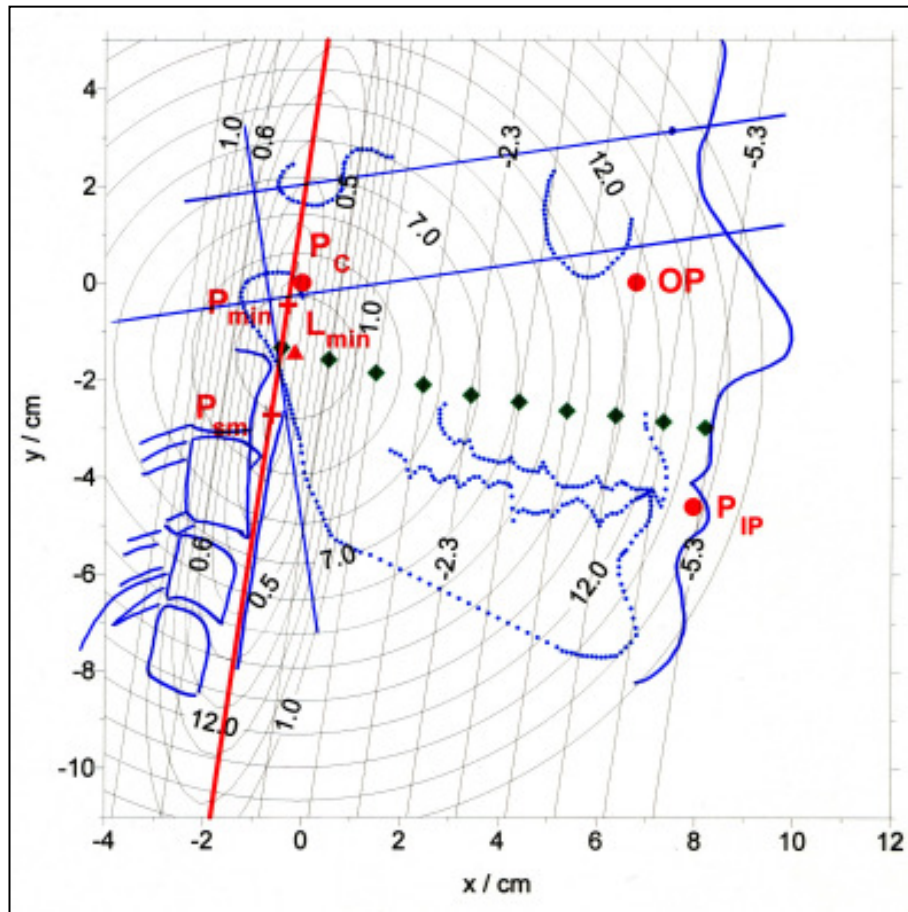


Abb. 37. Neues Koordinatensystem: die Nasion-Sella-Linie (obere blaue Linie) wurde in den Mittelpunkt des Condylus parallel verschoben. Der Kondylusmittelpunkt bildete den neuen Ursprung für die Lokalisation der Punkte P_{IP} : unterer Inzisalpunkt, OP : Orbitalpunkt, P_C : rechter Kondylenpunkt, P_{min} : Spur mit minimaler absoluter Fläche, P_{sm} : Spur mit zweitkleinster absoluter Fläche, L_{min} : Spur mit kürzester Länge. Auf der schräg im Bild liegenden roten Geraden g_0 lagen alle Punkte, deren positive und negative (mathematische) Flächeninhalte sich zu Null addieren (mit freundlicher Genehmigung von K. M. Thieme, 2009).

3.2.6. Zu untersuchenden Daten

Nachdem die oben genannten vorbereitenden Maßnahmen und Vorauswertungen vorbereitet waren, wurden nun auf dieser Grundlage die entsprechenden statistischen Daten erhoben. In dem auszuwertenden Datensatz sind aufgrund der kephalometrischen Fernröntgenanalyse modifiziert nach Hasund (1974) die kephalometrischen Werte der FRS-Bilder sowie die

kinematischen Daten aus den Messungen mit dem Ultraschall-Messgerät CMS-JMA der Firma Zebris Medizintechnik (Isny, Deutschland).

In den Vorauswertungen werden neben den Histogrammen zum Alter der untersuchten Patientengruppe (Kap. 4.2.10.) die kephalometrischen Daten von den FRS-Auswertungen mit Hilfe der Diagnostiksoftware *fr-win-professional* der Firma *computer konkret dental software* nach der kephalometrischen Fernröntgenanalyse modifiziert nach Hasund (1974) erstellt und in Kapitel 4.1.1. dargestellt. Die Winkel ML-NSL, NL-NSL und ML-NL werden gesondert betrachtet, für die der Mittelwert, der Medianwert, die Standardabweichung, der minimale und der maximale Wert ermittelt (s. Kap. 4.1.2.) und die entsprechend zugehörigen Punkte auf eindeutige, reproduzierbare Auffindbarkeit überprüft wurden (s. Kap. 4.1.3.). Ebenso wird jeweils die Streuung der $ML-NSL^\circ$, $NL-NSL^\circ$ und $ML-NL^\circ$, sowie die Korrelation der drei Winkel untereinander untersucht (s. Kap. 4.1.4.).

Nach erfolgter Überlagerung wird die Lage der Punkte P_{\min} (minimale Fläche HM=Hauptminimum), P_{NM} (minimale Fläche NM=Nebenminimum) und L_{\min} (minimale Länge) in dem neuen Koordinatensystem ermittelt und ausgewertet (s. Kap. 4.2.1.), sowie die Lagebeziehung der Geraden g_0 zu den Punkten P_{\min} , P_{NM} und L_{\min} (s. Kap. 4.2.2.), die Lage der Halswirbelsäule zur Geraden g_0 (s. Kap. 4.2.3.) und die Lage der y-Achse vom neuen Koordinatensystem zum aufsteigenden Unterkiefer-Ast (s. Kap. 4.2.4.).

In die Überlagerungen von Konturlinien-Plot mit dem dazugehörigen FRS-Bild wird das Widerstandszentrum WZ eingezeichnet, welches zehn Millimeter oberhalb der Okklusionsebene der Oberkiefer-Seitenzähne in Höhe des ersten Oberkiefer-Molars liegt (Abb. 38).

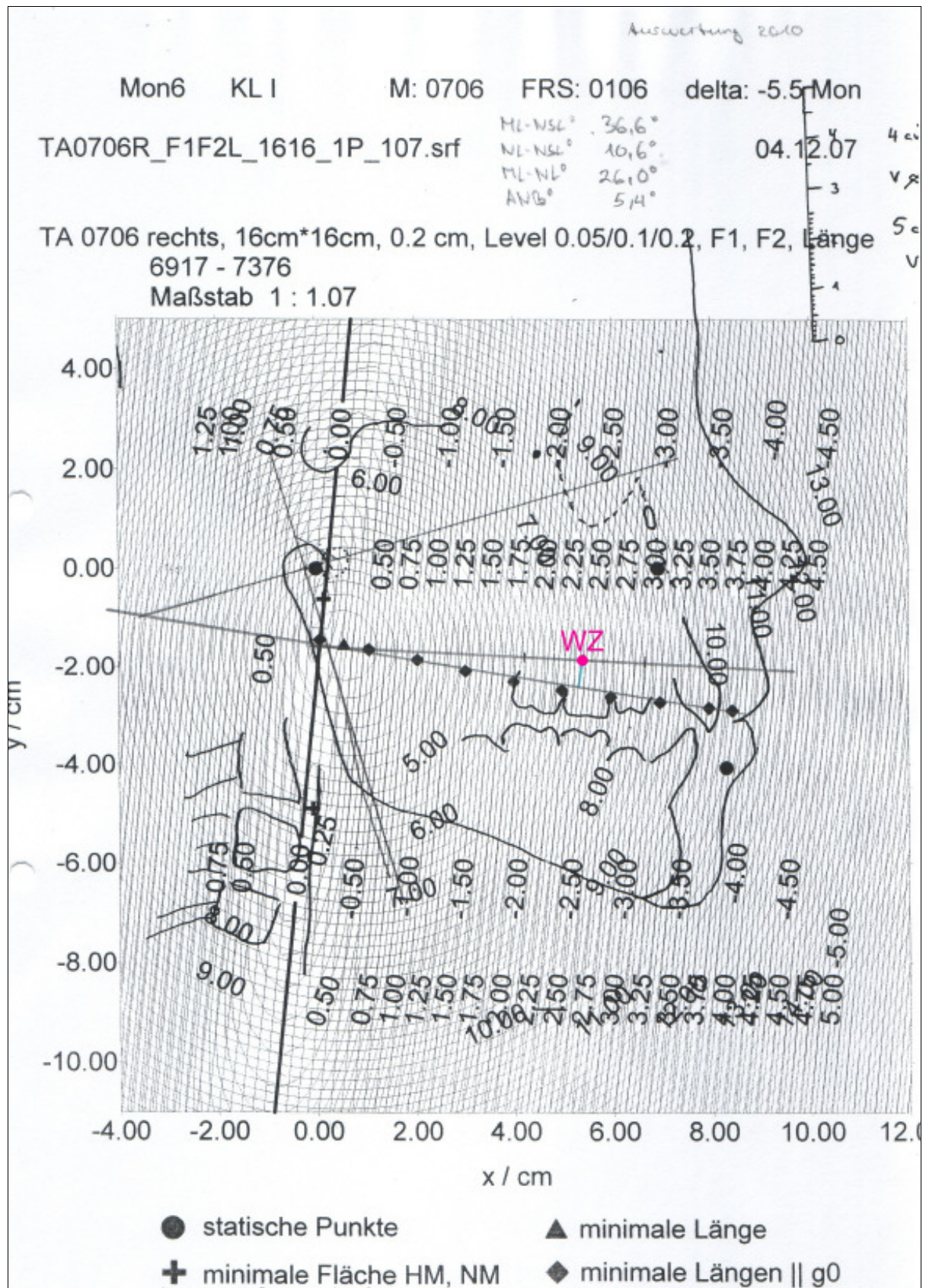


Abb. 38. Widerstandszentrum WZ (rosa Punkt) der Oberkiefer-Seitenzähne.

Durch das Widerstandszentrum, parallel zur Okklusionsebene und oberhalb der Oberkiefer-Seitenzähne verläuft die Linie der Widerstandszentren WZL wie in Abbildung 39 dargestellt.

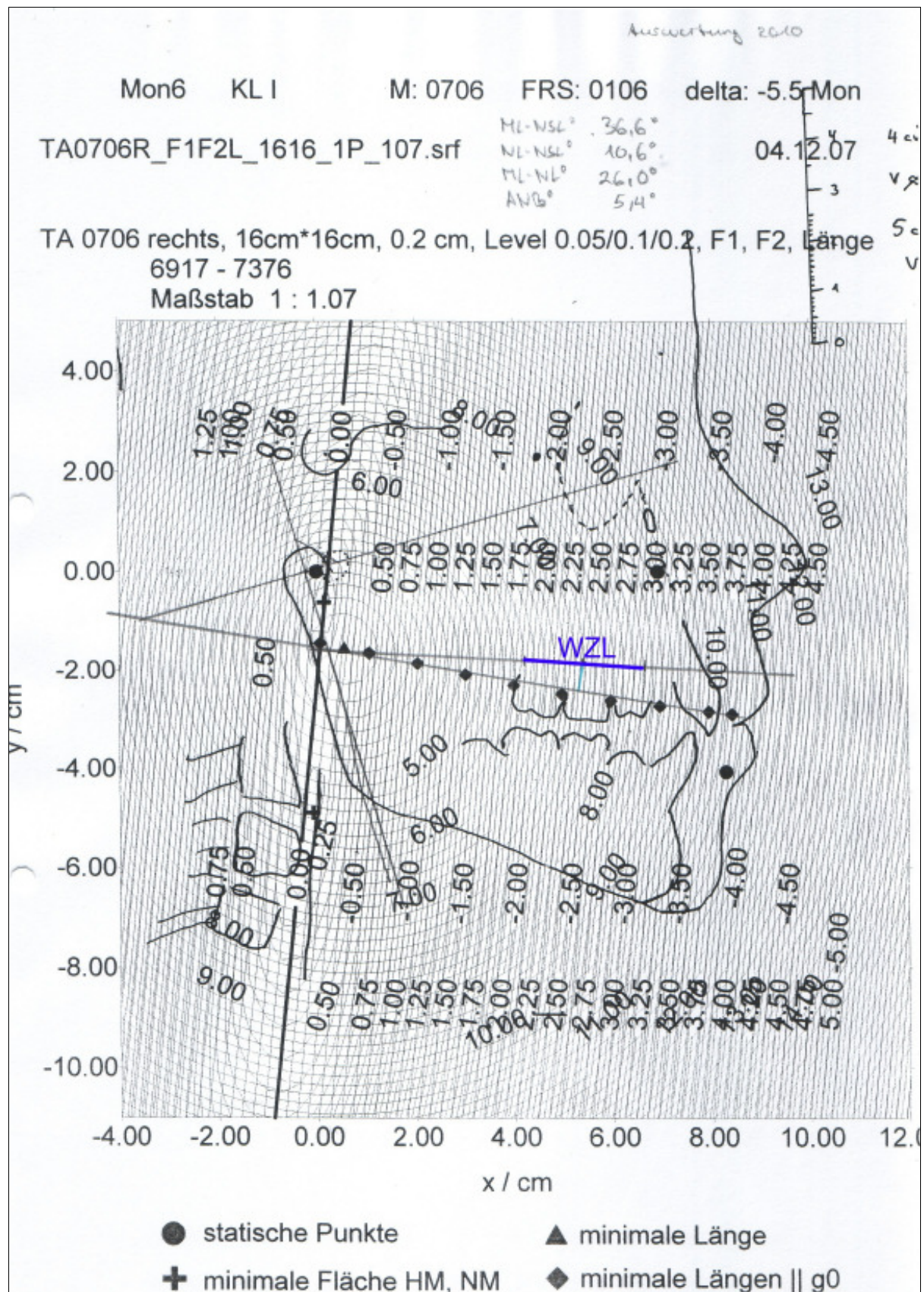


Abb. 39. Linie der Widerstandszentren WZL (blaue Linie) 10mm oberhalb der Okklusionsebene der Oberkiefer-Seitenzähne.

Die Minimal-/Maximal-Linie MML (Abb. 40) ist eine gemittelte Linie und wird durch die schwarzen Vierecke konstruiert. Die schwarzen Vierecke stellen auf dem Konturlinien-Plot die Punkte dar, die sich auf den parallelen Geraden g_n zur Geraden g_0 im Abstand von einem Zentimeter befinden. Jeder viereckige Punkt auf der jeweiligen parallelen Gerade g_n zur Geraden g_0 steht für den minimalen Umfang mit maximaler Fläche.

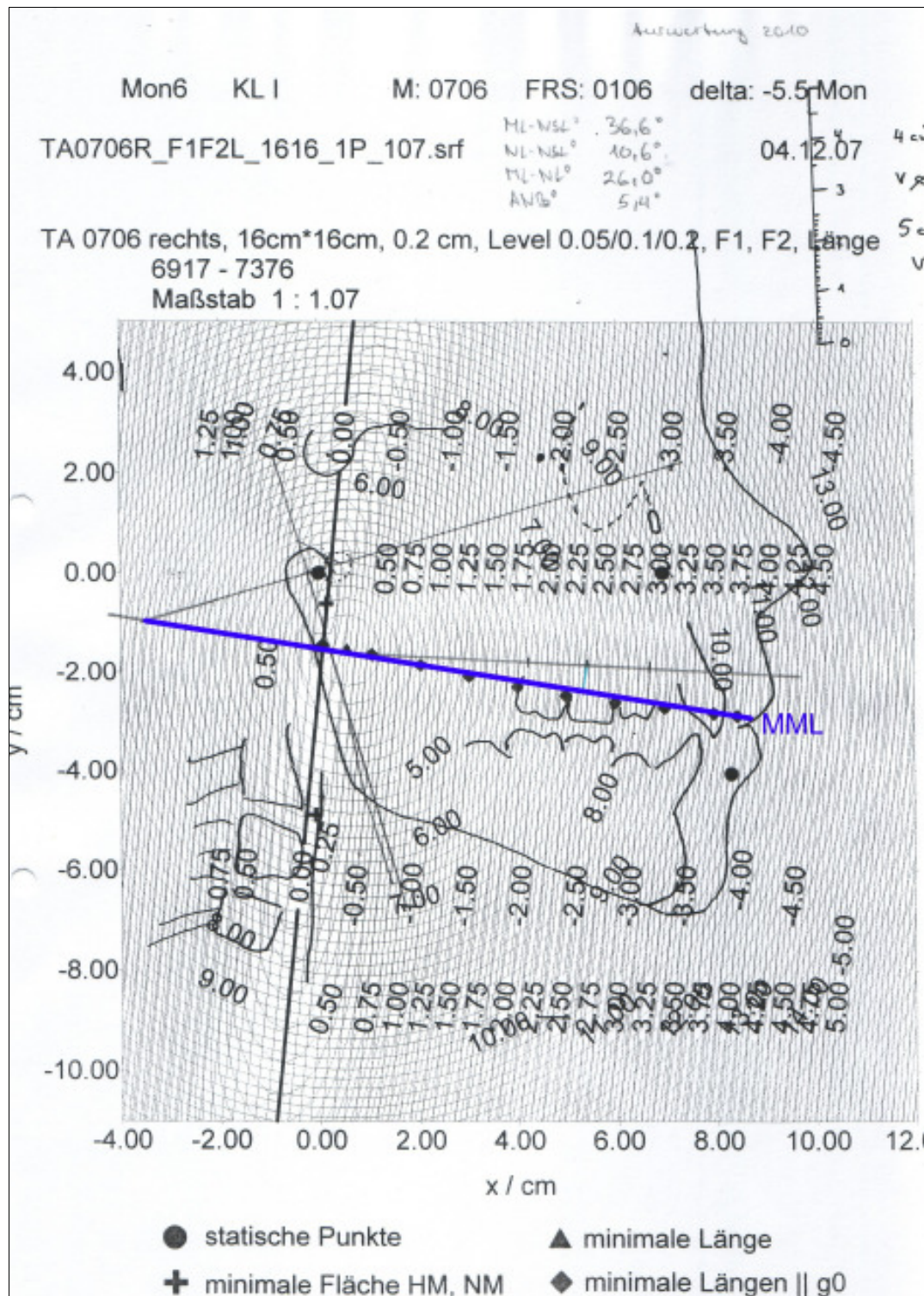


Abb. 40. Minimal-/Maximal-Linie MML.

Die Lage von MML im Vergleich zu WZL wird ermittelt und in Kapitel 4.2.5. dargestellt, sowie die Häufigkeitsverteilung vom cm-Abstand MML zu WZ und die Häufigkeitsverteilung vom Winkel zwischen MML und WZL. Ebenso wird eine Häufigkeitsverteilung vom cm-Abstand WZL zum Kondylenmittelpunkt Cp und eine Häufigkeitsverteilung vom cm-Abstand MML zum Kondylenmittelpunkt Cp erstellt (Kap. 4.2.6.). Abbildung 41 zeigt den Abstand von MML zum Kondylenmittelpunkt Cp.

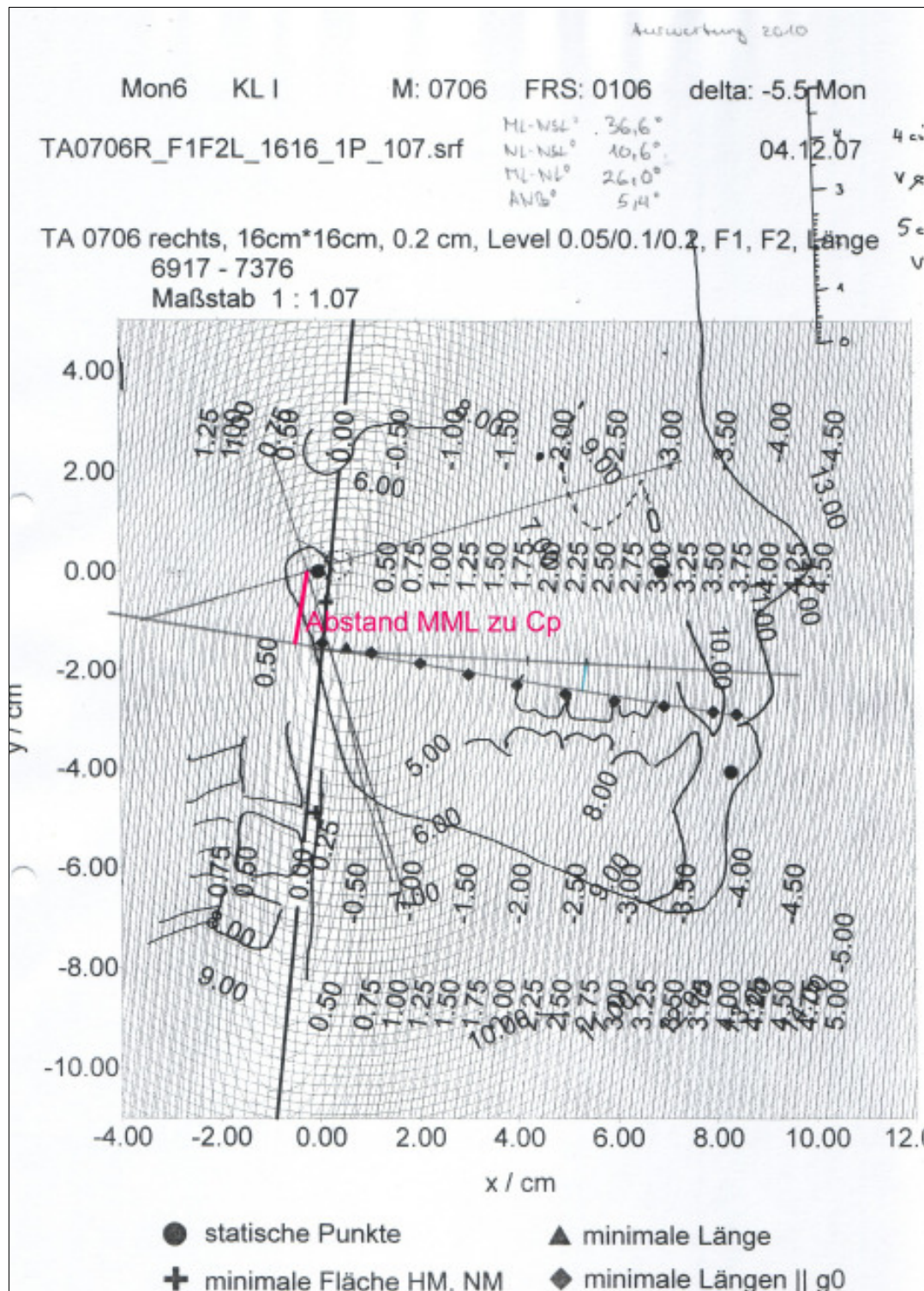


Abb. 41. Abstand MML zum Kondylenmittelpunkt Cp.

Der Schnittpunkt von MML mit der x-Achse des neu eingeführten Koordinatensystems sowie der Winkel zwischen MML und der x-Achse wird bei allen Überlagerungen gemessen und in Kapitel 4.2.7. dargestellt. Ebenso wird der Schnittpunkt von WZL mit der x-Achse und der Winkel zwischen WZL und der x-Achse ermittelt und dargestellt (Kap. 4.2.8.).

Vom Abstand des Unterkiefer-Inzisalpunktes zur y-Achse des neu eingeführten Koordinatensystems und der funktionellen Länge der Mandibula wurden der Mittelwert, der Median, die Standardabweichung, der minimale und der maximale Wert errechnet und in Kapitel 4.2.9. dargestellt.

Ziel dieser Dissertation ist es, Zusammenhänge zwischen den kephalometrischen und den kinematischen Variablen zu finden. Eine mögliche Beziehung zwischen kephalometrischen Variablen und kinematischen Variablen wird mit einer Korrelationsberechnung untersucht. Dazu werden bestehenden Korrelationen im Datensatz mit allen Patienten ohne fehlende Werte berechnet und in Kapitel 4.2.12. dargestellt.

Um Aufschlüsse über die hinter den kephalometrischen und kinematischen Variablen steckenden Gesetzmäßigkeiten zu erlangen, wird eine Varianzanalyse durchgeführt. Als Einflussvariable wird das Geschlecht festgelegt. Mit der Varianzanalyse wird dann der Einfluss des Geschlechts auf die kephalometrischen und kinematischen Variablen untersucht und mit Hilfe des F-Tests die letztendliche Signifikanz geprüft. Dabei wird unterschieden zwischen hoch signifikant, signifikant, schwach signifikant und extrem schwach signifikant. Die Ergebnisse der Varianzanalyse werden in Kapitel 4.2.13. dargestellt.

Zur Überprüfung der erhaltenen Signifikanz aus der Varianzanalyse mit F-Test wird der parameterfreie Wilcoxon-Test gewählt. Der Wilcoxon-Test prüft anhand der zuvor errechneten Signifikanzen, ob die Verteilungen zur selben Grundgesamtheit gehören. Der p-Wert gibt die Wahrscheinlichkeit an, ob das Ergebnis aus der Varianzanalyse mit F-Test erhalten werden kann. Auf diese Weise kann statistisch unterschieden werden, ob es sich bei dem Ergebnis der Varianzanalyse mit F-Test um ein aussagekräftiges oder unbedeutendes Ergebnis handelt (s. Kap. 4.2.13.).

Die Faktorenanalyse gehört zu den Daten reduzierenden Verfahren, da mit ihr von vielen verschiedenen Variablen auf wenige zugrunde liegende latente Variablen (=Faktoren) geschlossen werden kann. Mit dem kompletten Datensatz wurde eine Faktorenanalyse mit sechs Faktoren durchgeführt. Dabei errechnete die Faktorenanalyse dreizehn Variablen, die im Datensatz hoch korreliert sind (s. Kap. 4.2.14.).

4. Ergebnisse

4.1. Auswertung der Fernröntgenseitenbilder (FRS-Bild)

4.1.1. Auswertung der FRS-Bilder mit der Software *fr-win-professional* von *computer konkret dental software*

Die FRS-Bilder des Kollektivs (Kap. 3.1.1.) sind mit Hilfe der Diagnostiksoftware *fr-win-professional* der Firma *computer konkret dental software* nach der kephalometrischen Fernröntgenanalyse modifiziert nach Hasund (1974) ausgewertet worden (Kap. 3.2.1.). Insgesamt wurden 102 FRS-Auswertungen durchgeführt, von denen 51 FRS-Auswertungen doppelt ausgewertet wurden (Kap. 3.2.1.). In Kapitel 3.2.1. ist in Abbildung 29 ein Beispiel einer Auswertung der Patientin TS zum Zeitpunkt 0106 dargestellt. In Abbildung 42 ist exemplarisch ein Ausdruck der FRS-Bild-Auswertung dargestellt.

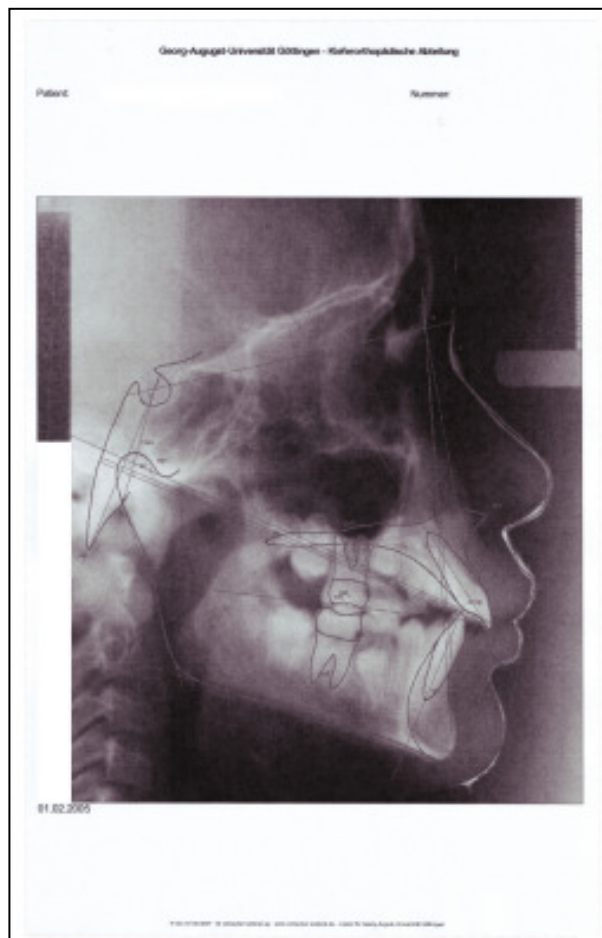


Abb. 42 . Beispiel einer FRS-Auswertung mit *fr-win-professional* von *computer konkret dental software*.

4.1.2. Winkel- und Strecken-Auswertung der FRS-Bilder

Nachdem die 102 FRS-Auswertungen mit Hilfe der Diagnostiksoftware *fr-win-professional* der Firma *computer konkret dental software* nach der kephalometrischen Fernröntgenanalyse modifiziert nach Hasund (1974) ausgewertet worden waren, wurden von allen Winkeln und Strecken der Mittelwert, der Median, die Standardabweichung, der minimale und der maximale Wert ermittelt. In Kapitel 4.2.11. ist zur Übersicht ein Boxplot für die kephalometrischen und kinematischen Variablen dargestellt. Da aber nicht alle kephalometrischen Werte für weitere Auswertungen verwendet wurden, sind in Tabelle 2 nur die Werte für die ML-NSL-, NL-NSL- und ML-NL-Winkel dargestellt.

Tab. 2. Norm in der Literatur und Mittel-, Median-, Standardabweichungs-, min. und max. Werte der 121 FRS-Auswertungen für die Variablen ML-NSL-, NL-NSL- und ML-NL-Winkel.

Variable	Norm in der Literatur	Mittelwert FRS-Ausw.	Median FRS-Ausw.	Standardabw. FRS-Ausw.	min. Wert FRS-Ausw.	max. Wert FRS-Ausw.
ML-NSL °	32,0±6,0	34,4	31,6	4,7	22,1	44,5
NL-NSL °	8,5±3,0	7,8	6,9	3,5	0,9	18,0
ML-NL °	23,5±3,0	26,6	24,7	4,4	12,6	36,3

Die Abbildung 43 zeigt die Boxplots für die ML-NSL-, NL-NSL- und ML-NL-Winkel. Die weißen Kästchen stellen den Mittelwert mit Standardabweichung dar. Die horizontalen, dicken, schwarzen Striche sind die Medianwerte der einzelnen Variablen. Die horizontale, dünne, schwarze Strich oberhalb der gestrichelten, vertikalen Linie ist der maximale Wert der Variable und unterhalb der gestrichelten, schwarzen Linie der minimale Wert der Variable. Die Punkte stellen Ausreißer in der Messreihe dar. Auf der x-Achse sind die Variablen dargestellt, die y-Achse zeigt die Größe in der entsprechenden Maßeinheit jeder Variable.

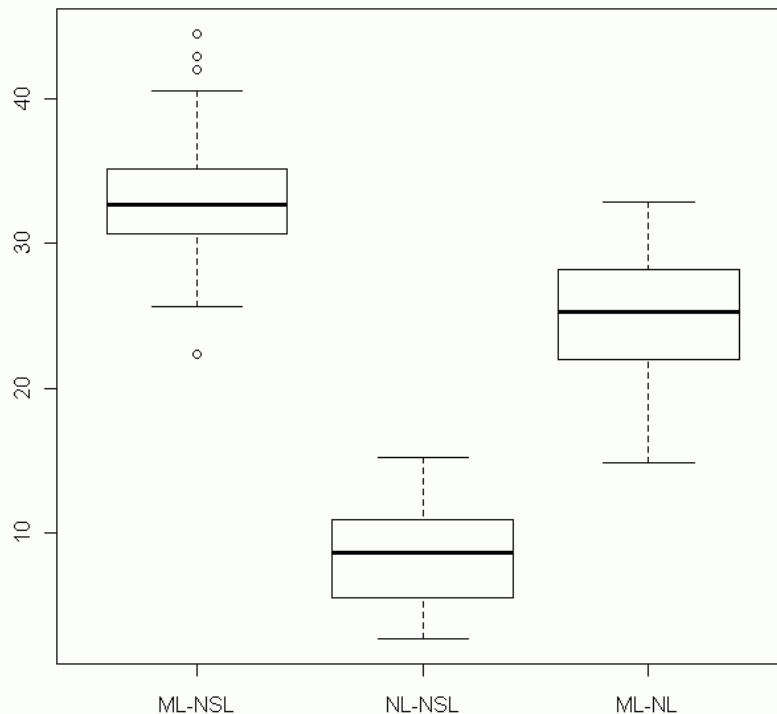


Abb. 43. Boxplots der ML-NSL-, NL-NSL- und ML-NL-Winkel aus den 102 FRS-Auswertungen.

4.1.3. Prüfung der Punkte für ML-NSL-, NL-NSL- und ML-NL-Winkel auf eindeutige, reproduzierbare Auffindbarkeit

Die Punkte Sellamittelpunkt S, Nasionpunkt N, Spina nasalis anterior-Punkt Spa, Pterygomaxillarepunkt Pm, Gnathionpunkt Gn, Unterrand der Mandibula UM stellen die Referenzpunkte für die ML-NSL-, NL-NSL- und ML-NL-Winkel dar (Kap. 2.1.6.). Der ML-NSL-Winkel ist Ausdruck der Mandibulaneigung zur Schädelbasis und des Wachstumsmusters. Der NL-NSL-Winkel ist Ausdruck der Neigung der Maxilla zur Schädelbasis. Der ML-NL-Winkel stellt den Interbasiswinkel dar und ist Ausdruck der Neigung der Mandibula (M-Linie) zur Basis der Maxilla (N-Linie) und damit der Divergenz der Kieferbasen. Mit diesem Winkel kann der Wachstumstyp bestimmt werden (Kap. 2.1.6., Abb. 15).

Auf Grund der unterschiedlichen Röntgenbildqualität war die möglichst genaue Markierung der für die Referenzlinien notwendigen Referenzpunkte von Bedeutung. Der Nasionpunkt N und der Mittelpunkt der Sella turcica S waren sicher aufzufinden, da die für die

Referenzpunkte notwendigen knöchernen Strukturen im FRS-Bild stets deutlich zu erkennen waren. Bei dem Pterygomaxillarepunkt Pm war die Auffindbarkeit sicher bis mittelmäßig, da es in den FRS-Bildern teilweise eine Überlagerung des Punktes mit den Zähnen gab. Die Markierung des Spina nasalis anterior Punktes Spa mußte als unsicher bezeichnet werden, da im FRS-Bild die Strukturen der anterioren, knöchernen Kontur des Gesichtschädels häufig kaum oder gar nicht zu erkennen waren. Der Gnathionpunkt Gn war sicher auffindbar, da die für den Referenzpunkt notwendige knöcherne Struktur im FRS-Bild stets deutlich zu erkennen war. Der Unterrand der Mandibula UM wies eine mittelmäßige Auffindbarkeit auf. Im FRS-Bild überlagerten sich der rechte und der linke Unterrand der Mandibula. Wenn der Patient während der Aufnahme des FRS-Bildes nicht exakt gerade im Röntgengerät steht oder sitzt, werden der rechte und linke Unterrand der Mandibula im FRS-Bild in unterschiedlicher Höhe dargestellt. Hinzu kommt, dass die linke Kopfseite von der Filmplatte weiter entfernt liegt als die rechte, filmnahe Kopfseite und dadurch stärker radial aufgeweitet wird. Im Kapitel 5.1.1. werden für diesen Fall verschiedene Ansätze zur möglichen Markierung des Mandibula-Unterrand-Punktes UM, sowie für die anderen, oben genannten Referenzpunkte diskutiert.

Um die Auswirkung bei unterschiedlicher Markierung des Unterrandes der Mandibula bei doppelter Darstellung im FRS-Bild festzustellen, wird bei drei FRS-Bildern jeweils eine Auswertung mit Markierung des oberen Unterrandes der Mandibula und eine Auswertung mit Markierung des unteren Unterrandes der Mandibula erstellt. Die daraus entstehende Winkel-Differenz wird dann für die Winkel ML-NSL, ML-NL und GnGoAr gemessen. Dabei entstehen Differenz-Werte von $2,6^{\circ}$ bis $5,2^{\circ}$. Im ersten FRS-Bild ergeben sich für die drei gemessenen Winkel immer Differenzen von $4,2^{\circ}$. Im zweiten FRS-Bild ergibt sich für die Winkel ML-NSL und ML-NL jeweils eine Differenz von $2,7^{\circ}$ und für den GnGoAr-Winkel eine Differenz von $2,6^{\circ}$. Im dritten FRS-Bild ergibt sich für den ML-NSL-Winkel eine Differenz von $5,2^{\circ}$ und für die Winkel ML-NL und GnGoAr eine Differenz von $4,8^{\circ}$. Dabei ändert sich in allen FRS-Bildern für den ML-NL-Winkel der Wachstumstyp vom normalen Interbasiswinkel zum horizontalen Wachstumstyp. Bei den beiden anderen Winkeln ändert sich der Wachstumstyp nicht.

Bei Veränderung des Pterygomaxillarepunktes Pm ergibt sich eine Differenz für den Winkel NL-NSL von $1,1^{\circ}$. Da dieser Punkt mittelmäßig bis sicher aufzufinden ist, wird die Auswirkung der unterschiedlichen Markierung nur an einem FRS-Bild geprüft. Mit dieser geringen Winkel-Differenz ändert sich der Wachstumstyp nicht.

Die unterschiedlichen Markierungen des Spina nasalis anterior Punktes Spa werden an zwei FRS-Bildern mit schlechter Qualität untersucht und die Differenz des NL-NSL-Winkels gemessen. Erstaunlich ist bei dem sehr unsicher aufzufindenden Punkt, dass die Winkel-Differenz bei dem ersten FRS-Bild $2,9^\circ$ und bei dem zweiten FRS-Bild $1,6^\circ$ beträgt. Dabei ändert sich in den beiden FRS-Bildern nicht der Wachstumstyp. Trotz schlechter Qualität der FRS-Bilder ändert sich bei einer ungenauen Markierung der Wachstumstyp nicht.

Zur genaueren Bestimmung der Aussagefähigkeit von Veränderungen von Punkten und der daraus resultierenden Winkel-Differenz wird der als sicher wieder aufzufindend eingestufte Nasionpunkt N bei zwei FRS-Bildern jeweils unterschiedlich markiert. Die daraus entstehenden Winkel-Differenzen der Winkel ML-NSL, NL-NSL, SNA, SNB und ANB werden dann ermittelt. Beim ersten FRS-Bild ergibt sich für den ML-NSL-Winkel eine Differenz von $1,9^\circ$ und für den NL-NSL-Winkel eine Differenz von $1,8^\circ$. Der Differenz-Wert für den SNA-Winkel beträgt $0,6^\circ$, für den SNB-Winkel $0,9^\circ$ und für den ANB-Winkel $0,3^\circ$. Der Wachstumstyp ändert sich bei keinem der oben genannten Winkel. Beim zweiten FRS-Bild ergibt sich für den ML-NSL-Winkel und für den NL-NSL-Winkel jeweils eine Differenz von $3,0^\circ$. Der Differenz-Wert für den SNA- und SNB-Winkel beträgt jeweils $2,5^\circ$ und für den ANB-Winkel $0,1^\circ$. Beim ML-NSL-Winkel ist durch die Winkeländerung der Wachstumstyp von einer normalen Mandibula zur Mandibula mit vertikaler Neigung verändert. Beim NL-NSL-Winkel ist durch die Winkeländerung der Wachstumstyp von einer normalen Maxilla zur Maxilla mit horizontaler Neigung verändert. Die sagittale Lage der Maxilla in Relation zur Schädelbasis (SNA-Winkel) ist von einer orthognathen zur retrognathen Maxilla verändert. Bei der Betrachtung des SNB-Winkels und des ANB-Winkels hat die Winkeländerung des Nasionpunktes N keine Wachstumstypänderung verursacht.

4.1.4. Streuung der ML-NSL-, NL-NSL- und ML-NL-Winkel

Die Parameter ML-NSL, NL-NSL und ML-NL waren für die verknüpfenden Untersuchungen von FRS-Bildern mit den Daten aus Messungen von Mandibulabewegungen an jugendlichen Klasse-II-Patienten wichtige Referenzlinien. Die Streuung dieser Parameter wird in diesem Kapitel dargestellt. Durch die Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Winkel und der ermittelten Standardabweichungen der 102 FRS-Auswertungen ist ein Vergleich mit dem Normbereich der Literatur, sowie dem in der Literatur angegebenen Norm-Winkel möglich.

Der ML-NSL-Winkel ist Ausdruck der Mandibulaneigung zur Schädelbasis und des Wachstumsmusters. In der Literatur beträgt die Norm für den ML-NSL-Winkel $32,0^\circ \pm 6,0^\circ$. Der Mittelwert aus den 102 FRS-Auswertungen beträgt für diesen Winkel $34,4^\circ$ und die Standardabweichung $4,7^\circ$. Der kleinste Winkel aus den 102 FRS-Auswertungen beträgt $22,1^\circ$ und der größte Winkel $44,5^\circ$. Der Winkel zwischen dem minimalen und dem maximalen Winkel aus den 102 FRS-Auswertungen beträgt $22,4^\circ$ und der Normbereich in der Literatur hat einen Winkel von 12° , was einen Unterschied von $10,4^\circ$ ausmacht. Diese Winkelstreuung wird in der Häufigkeitsverteilung genauer betrachtet.

Das ML-NSL-Histogramm stellt die Häufigkeitsverteilung des ML-NSL-Winkels in dar (Abb. 44). Unter Berücksichtigung der Standardabweichung ($4,7^\circ$) von den 102 FRS-Auswertungen liegt der größte Anteil der ML-NSL-Winkel in dem von der Literatur vorgegebenen Normbereich von 26° bis 38° . Die Literatur gibt einen Norm-Winkel von 32° vor. Im ML-NSL-Histogramm liegt die größte Häufigkeit der ML-NSL-Winkel von den 102 FRS-Auswertungen bei $32,3^\circ$. Sowohl der Normbereich und der in der Literatur vorgegebene Norm-Winkel entsprechen der Winkelverteilung von den 102 FRS-Auswertungen.

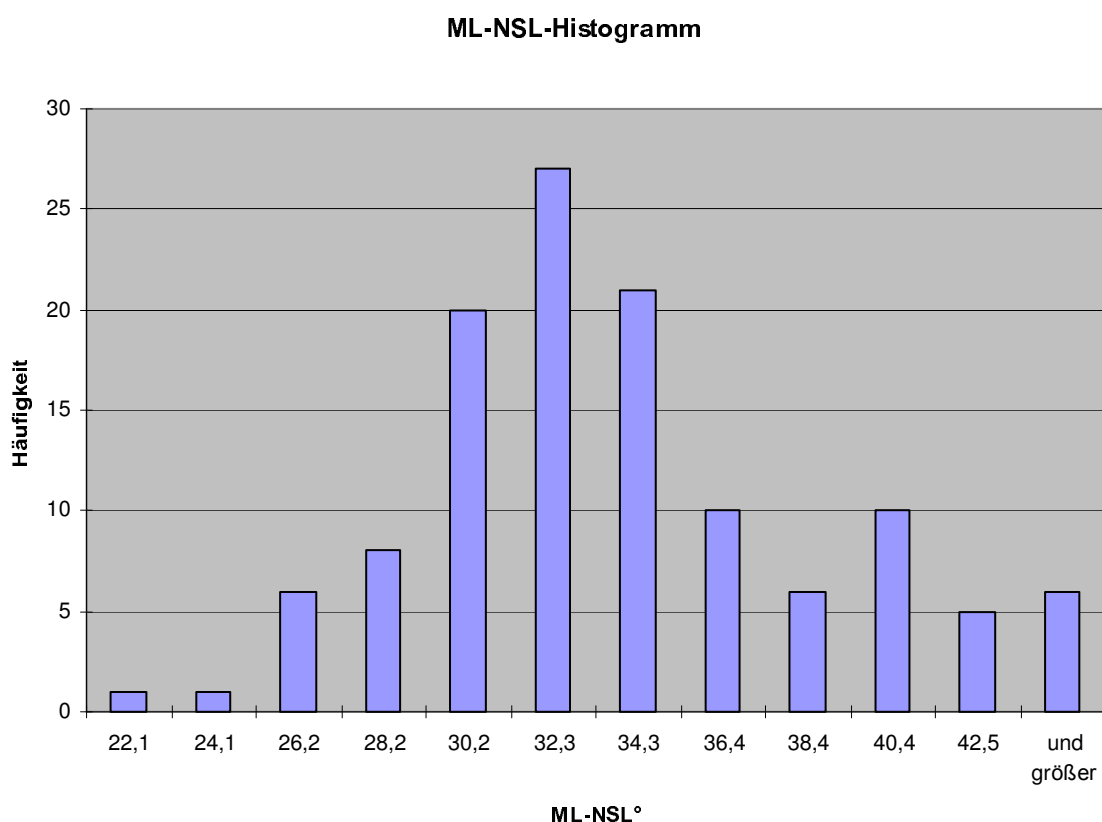


Abb. 44. ML-NSL-Histogramm mit der Häufigkeitsverteilung des ML-NSL-Winkels.

Der NL-NSL-Winkel ist Ausdruck der Neigung der Maxilla zur Schädelbasis. In der Literatur beträgt die Norm für den NL-NSL-Winkel $8,5^{\circ} \pm 3,0^{\circ}$. Der Mittelwert aus den 102 FRS-Auswertungen beträgt für diesen Winkel $7,8^{\circ}$ und die Standardabweichung $3,5^{\circ}$. Der kleinste Winkel aus den 102 FRS-Auswertungen beträgt $0,9^{\circ}$ und der größte Winkel $18,0^{\circ}$. Der Winkel zwischen dem minimalen und dem maximalen Winkel aus den 102 FRS-Auswertungen beträgt $17,1^{\circ}$ und der Normbereich in der Literatur hat einen Winkel von 6° , was einen Unterschied von $11,1^{\circ}$ ausmacht. Diese Winkelstreuung wird in der Häufigkeitsverteilung genauer betrachtet.

Das NL-NSL-Histogramm stellt die Häufigkeitsverteilung des NL-NSL-Winkels in dar (Abb. 45). Unter Berücksichtigung der Standardabweichung ($3,5^{\circ}$) von den 102 FRS-Auswertungen liegt der größte Anteil der NL-NSL-Winkel in dem von der Literatur vorgegebenen Normbereich von $5,5^{\circ}$ bis $11,5^{\circ}$. Die Literatur gibt einen Norm-Winkel von $8,5^{\circ}$ vor. Im NL-NSL-Histogramm liegt die größte Häufigkeit der NL-NSL-Winkel von den 102 FRS-Auswertungen bei $5,9^{\circ}$, welcher kleiner als der Norm-Winkel der Literatur ist. Selbst die zweitgrößte Häufigkeitsverteilung liegt bei einem Winkel von $7,4^{\circ}$, welcher auch kleiner als der Norm-Winkel der Literatur ist. Im NL-NSL-Histogramm der 102 FRS-Auswertungen entspricht die Häufigkeitsverteilung dem Normbereich der Literatur. Der Norm-Winkel aus der Literatur weicht von der größten Häufigkeit bei dieser FRS-Auswertungsreihe ab.

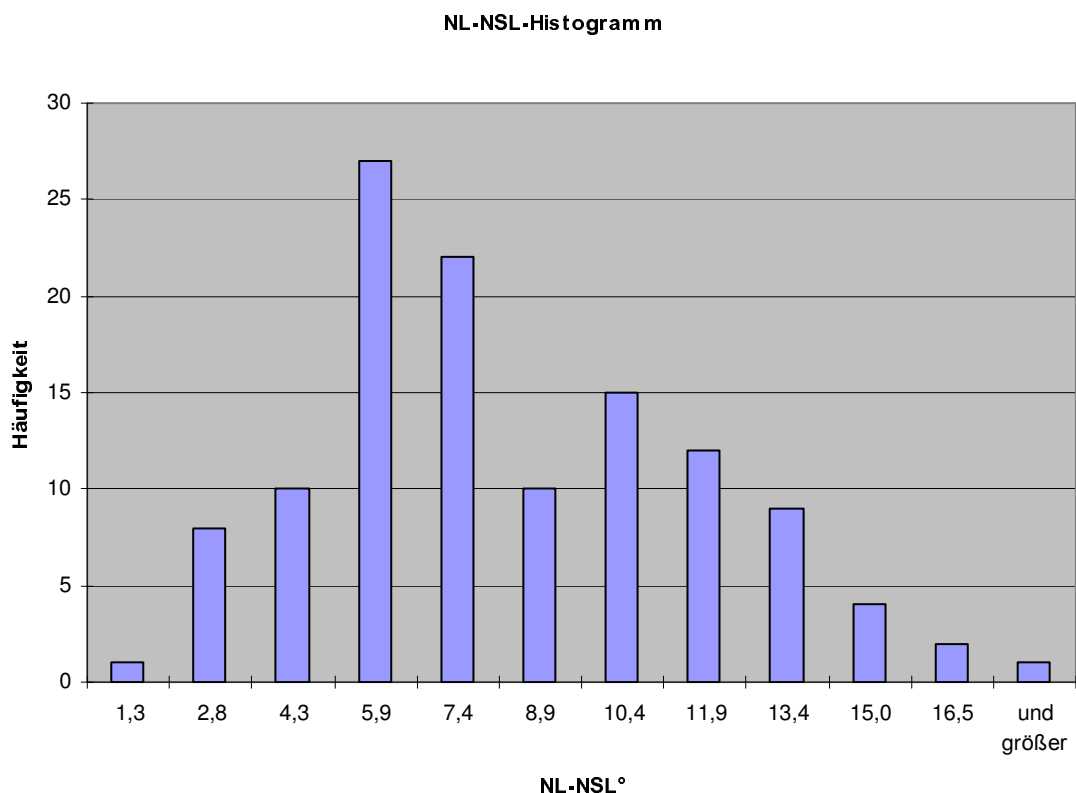


Abb. 45. NL-NSL-Histogramm mit der Häufigkeitsverteilung des NL-NSL-Winkels.

Der ML-NL-Winkel stellt den Interbasiswinkel dar und ist Ausdruck der Neigung der Mandibula (M-Linie) zur Basis der Maxilla (N-Linie) und damit der Divergenz der Kieferbasen. Mit diesem Winkel kann der Wachstumstyp bestimmt werden. In der Literatur beträgt die Norm für den ML-NL-Winkel $23,5^\circ \pm 3,0^\circ$. Der Mittelwert aus den 102 FRS-Auswertungen beträgt für diesen Winkel $26,6^\circ$ und die Standardabweichung $4,4^\circ$. Der kleinste Winkel aus den 102 FRS-Auswertungen beträgt $12,6^\circ$ und der größte Winkel $36,3^\circ$. Der Winkel zwischen dem minimalen und dem maximalen Winkel aus den 102 FRS-Auswertungen beträgt $23,7^\circ$ und der Normbereich in der Literatur einen Winkel von 6° , was einen Unterschied von $17,7^\circ$ ausmacht. Diese Winkelstreuung wird in der Häufigkeitsverteilung genauer betrachtet.

Das ML-NL-Histogramm stellt die Häufigkeitsverteilung des ML-NL-Winkels in dar (Abb. 46). Unter Berücksichtigung der Standardabweichung ($4,4^\circ$) von den 102 FRS-Auswertungen liegt der größte Anteil der ML-NL-Winkel in dem von der Literatur vorgegebenen Normbereich von $20,5^\circ$ bis $26,5^\circ$, jedoch kann der Bereich bis zu einem Winkel von 32° ausgeweitet werden. Die Literatur gibt einen Norm-Winkel von $23,5^\circ$ vor. Im ML-NL-Histogramm liegt die größte Häufigkeit der ML-NL-Winkel von den 102 FRS-Auswertungen bei $23,4^\circ$. Der in der Literatur vorgegebene Norm-Winkel entspricht somit der größten Häufigkeit von diesen 102 FRS-Auswertungen.

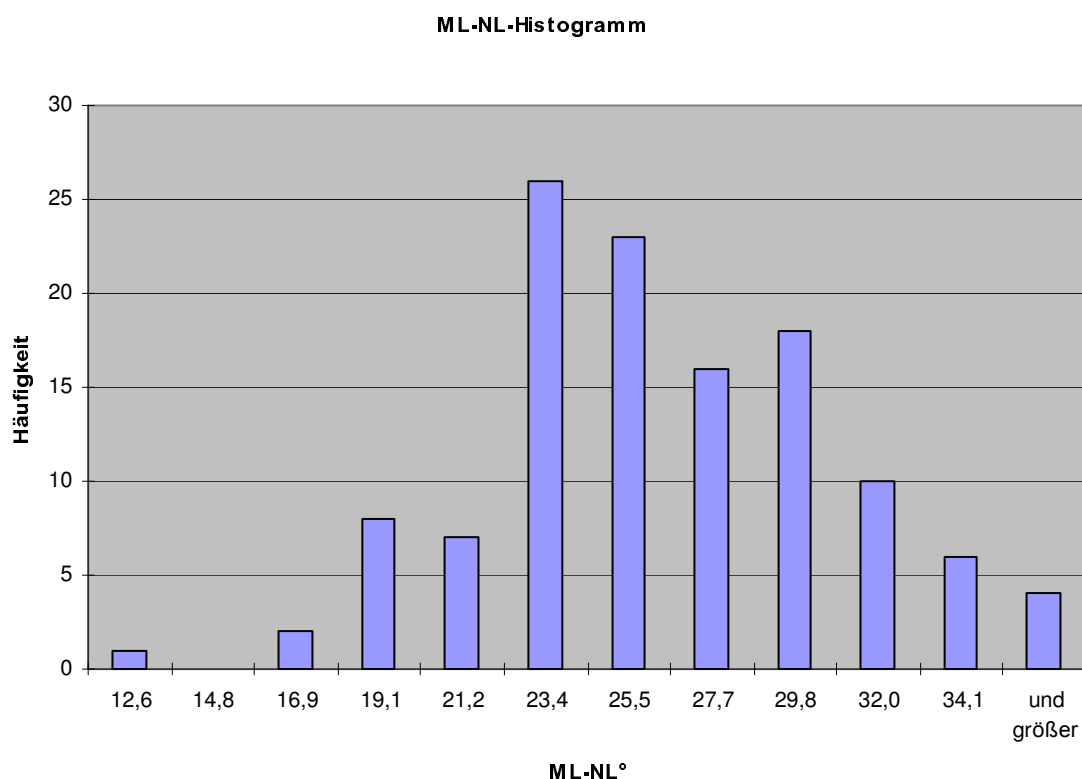


Abb. 46. ML-NL-Histogramm mit der Häufigkeitsverteilung des ML-NL-Winkels.

Im Winkeldiagramm (Abb. 47) sind alle Winkel-Werte der Winkel ML-NSL, NL-NSL und ML-NL für die 102 FRS-Auswertungen graphisch dargestellt. Auf der x-Achse liegen die 102 FRS-Auswertungen der Patienten und die y-Achse stellt die Winkel dar. Die blaue Linie zeigt die ML-NSL-Winkel, die pinke Linie die NL-NSL-Winkel und die gelbe Linie die ML-NL-Winkel. Der Winkel ML-NSL ist in aufsteigender Reihenfolge sortiert nach Größe der Winkel. Die Linie der ML-NL[°] verläuft bis auf wenige Ausnahmen genau entgegengesetzt zur Linie der NL-NSL[°]. Man kann erkennen, wie sich die drei Winkel von einem Patienten zueinander verhalten und im Vergleich zu den anderen Patienten.

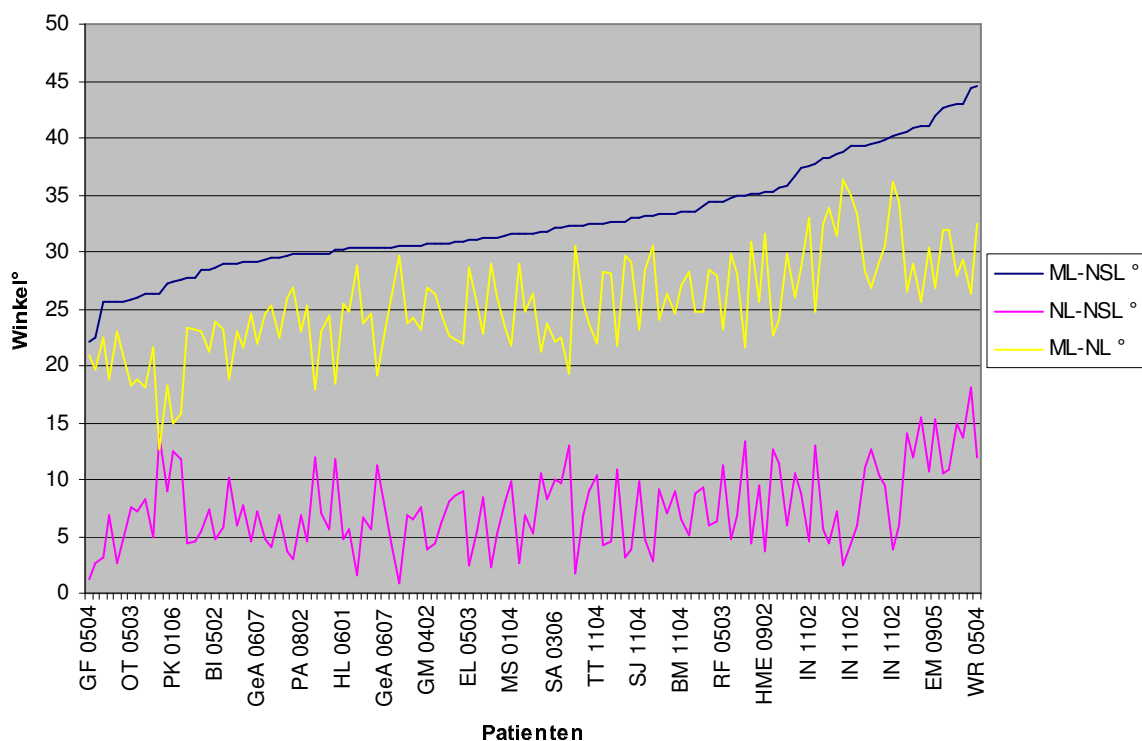


Abb. 47. Winkeldiagramm für die Winkel ML-NSL, NL-NSL und ML-NL.

4.2. Ergebnisse aus der Überlagerung von anatomischen Strukturen (FRS-Bild bzw. Umriss-Folien) mit zeitnahen Messungen der Unterkieferbewegungen und den entsprechenden Konturlinien-Plots

Von jedem Patient wurden mindestens ein FRS-Bild bzw. eine Umriss-Folie und ein zeitlich dazugehöriger Konturlinien-Plot erzeugt (Kap. 3.2.2. und Kap. 3.2.3.). Der Maßstab jedes einzelnen Konturlinien-Plots wurde dem Maßstab des dazugehörigen FRS-Bildes angepasst, um die knöchernen mit den beweglichen Parametern überlagern zu können (Kap. 3.2.4.), wodurch 69 Überlagerungen entstanden (Kap. 3.1.1.). Abbildung 48 zeigt exemplarisch für alle 69 Überlagerungen eine Überlagerung von Umriss-Folie mit dem dazugehörigen Konturlinien-Plot.

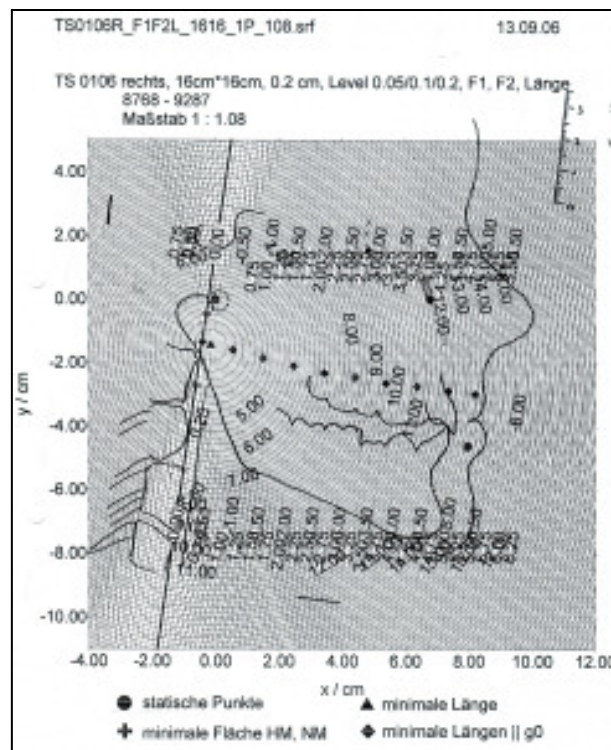


Abb. 48. Überlagerung von der Umriss-Folie des FRS-Bildes auf den Konturlinien-Plot.

Um die Überlagerung des FRS-Bildes mit dem Konturlinien-Plot auswerten zu können, wurde ein Koordinatensystem benötigt (Kap. 3.2.5.). Mit Hilfe dieses neuen Koordinatensystems konnte nun die Lage des Hauptminimums der Flächen HM, des Nebenminimums der Flächen NM und des Längenminimums ermittelt und ausgewertet werden. In Kapitel 4.2.1. werden diese Ergebnisse von der Lage der Punkte P_{\min} (minimale Fläche HM), P_{NM} (minimale Fläche

NM) und L_{\min} (minimale Länge) innerhalb und außerhalb knöcherner Strukturen des Unterkiefers dargestellt.

Die Ergebnisse in Kapitel 4.2.2. zeigen Lagebeziehung der Geraden g_0 zu den Punkten P_{\min} , P_{NM} und L_{\min} , in Kapitel 4.2.3. die Lage der Halswirbelsäule zur Geraden g_0 , in Kapitel 4.2.4. die Lage der y-Achse vom neuen Koordinatensystem zum aufsteigenden Unterkiefer-Ast, in Kapitel 4.2.5. Lage von MML im Vergleich zu WZL, in Kapitel 4.2.6. Abstand MML zu C_p und Abstand WZL zu C_p , in Kapitel 4.2.7. Lage von MML zur x-Achse, in Kapitel 4.2.8. Lage von WZL zur x-Achse, in Kapitel 4.2.9. Abstand des UK-Inzisalpunktes zur y-Achse und funktionelle Länge der Mandibula, in Kapitel 4.2.10. Histogramm zum Alter der untersuchten Patientengruppe, in Kapitel 4.2.11. Boxplot für den kompletten Datensatz, in Kapitel 4.2.12. Korrelationen im Datensatz, in Kapitel 4.2.13. Varianzanalyse nach Geschlecht und Wilcoxon-Test und in Kapitel 4.2.14. Faktorenanalyse.

4.2.1. Lage der Punkte P_{\min} , P_{NM} und L_{\min} innerhalb und außerhalb knöcherner Strukturen des Unterkiefers

Um die Punkte P_{\min} , P_{NM} und L_{\min} aus den Überlagerungen der verschiedenen Patienten mit unterschiedlichen Vergrößerungen vergleichbar zu machen, wurde ein neues Koordinatensystem erstellt (Kap. 3.2.5.), in welchem die genannten Punkte auf den Maßstab 1:1 zurückgerechnet wurden. Alle Punkte von allen Überlagerungen wurden dann in ein gemeinsames Diagramm eingetragen. Zur besseren Orientierung und Darstellung der Anatomie wurde der Mandibula-Umriss aus allen Überlagerungen ebenfalls in den Maßstab 1:1 umgerechnet und dann der Mittelwert gebildet. So entstand ein Koordinatensystem mit Lage der Mandibula im Maßstab 1:1, in welchem nun die Punkte P_{\min} , P_{NM} und L_{\min} ebenfalls im Maßstab 1:1 dargestellt und verglichen wurden. Die Prozentwerte von innerhalb und außerhalb knöcherner Strukturen liegenden Punkten entstanden durch Auszählen der Punktlage in den jeweiligen Überlagerungen von FRS-Bild und Konturlinien-Plot.

Beim Vergleich der Messungen aller Überlagerungen lag der Punkt P_{\min} zu 59% außerhalb der knöchernen Strukturen des Kondyluskopfes (Abb. 49).

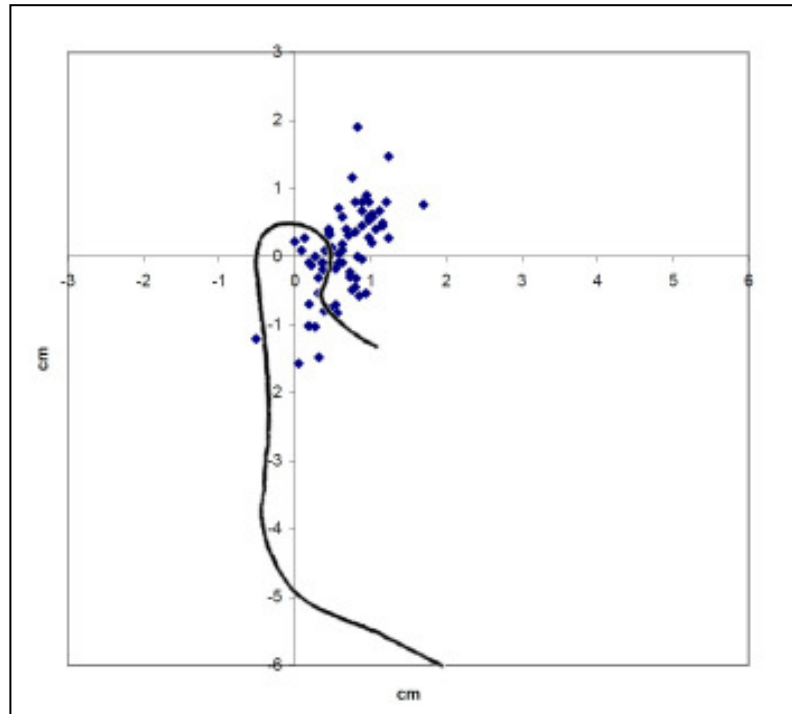


Abb. 49. Lage der Punkte P_{min} .

Der Punkt P_{NM} lag zu 72% außerhalb der knöchernen Strukturen der Mandibula (Abb. 50).

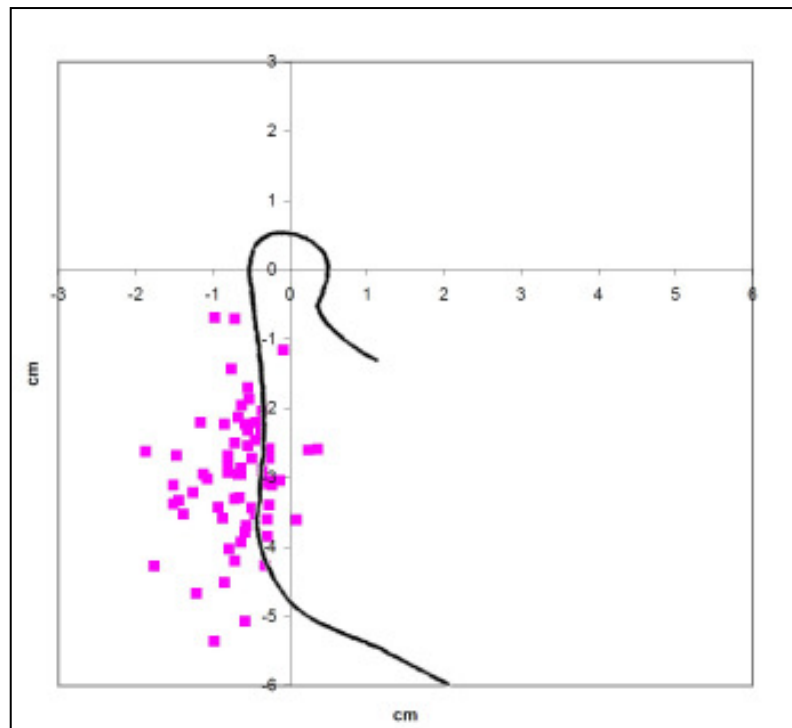


Abb. 50. Lage der Punkte P_{NM} .

Zu 81% lag L_{\min} innerhalb der knöchernen Struktur der Mandibula (Abb. 51).

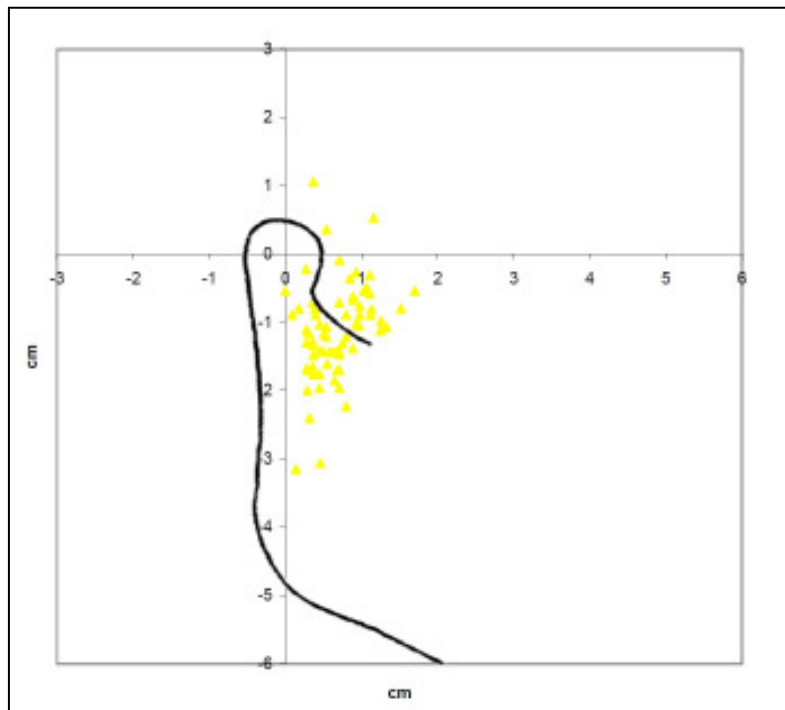


Abb. 51. Lage der Punkte L_{\min} .

Bei der Überlagerung von FRS-Bild und Konturlinien-Plot lagen P_{\min} und L_{\min} meist untereinander (Abb. 52).

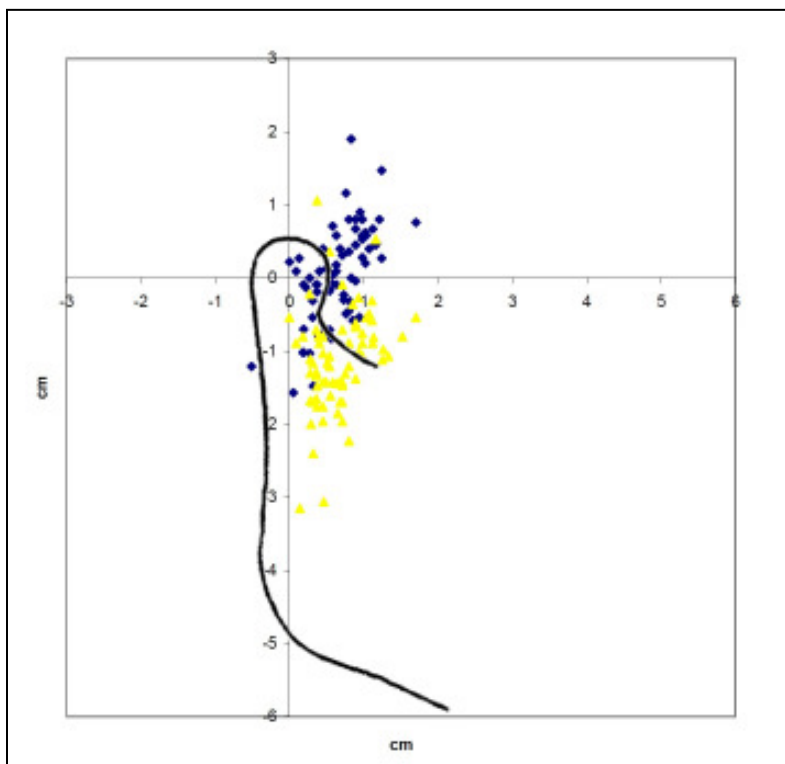


Abb. 52. Lage der Punkte P_{\min} und L_{\min} .

Die verknüpfenden Untersuchungen von FRS-Bildern mit den Daten aus Messungen von Mandibulabewegungen an jugendlichen Patienten legen den Schluss nahe, dass Mandibula, Maxilla und Wirbelsäule als funktionelle Einheit betrachtet werden müssen (Kap. 2.3.).

Die Abbildung 53 zeigt zur Übersicht die Lage der Punkte P_{\min} , P_{NM} und L_{\min} in einem Diagramm.

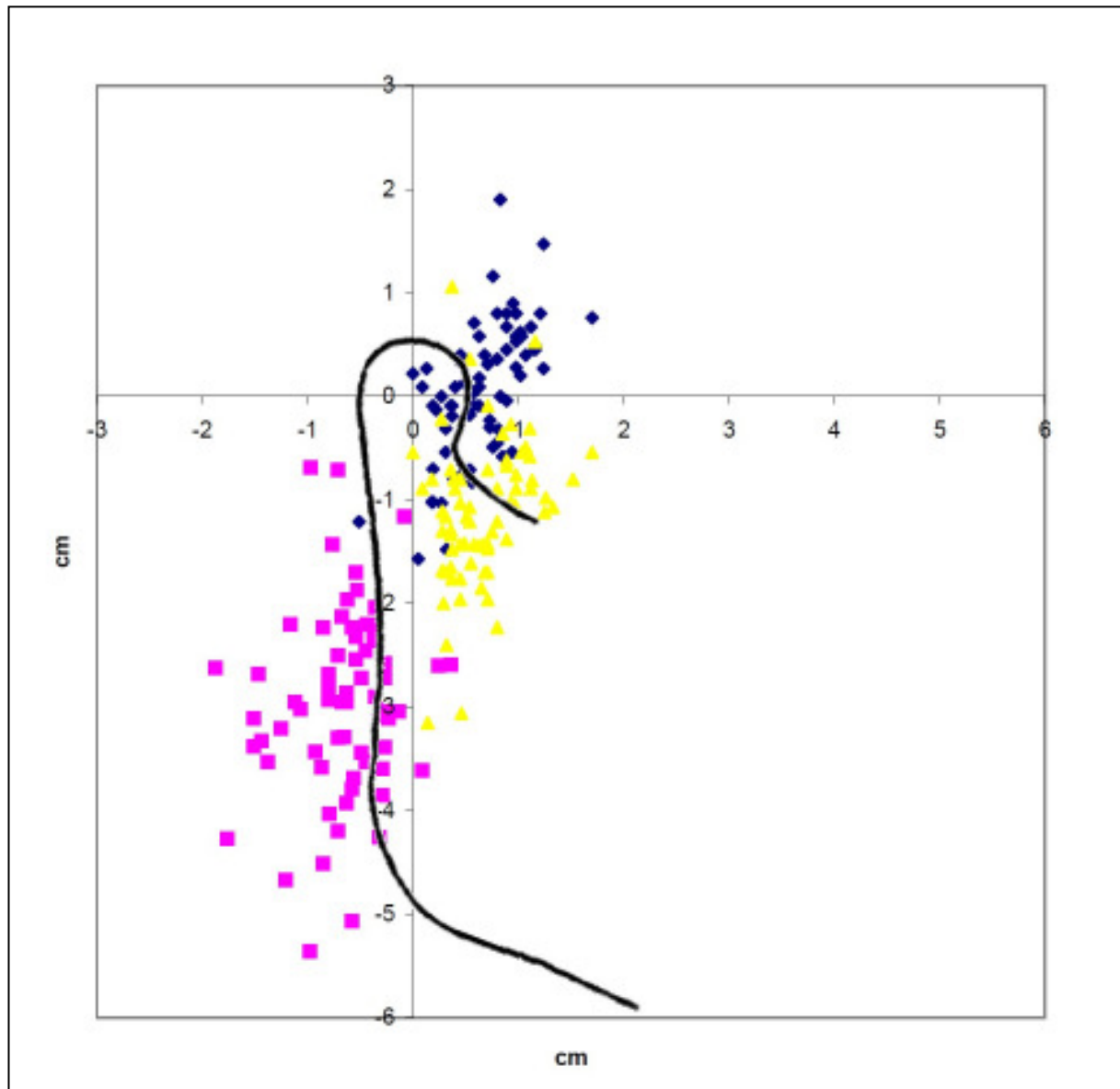


Abb. 53. Lage der Punkte P_{\min} , P_{NM} und L_{\min} .

4.2.2. Lagebeziehung der Geraden g_0 zu den Punkten P_{\min} , P_{NM} und L_{\min}

Die enge Lagebeziehung der Minima mit der Geraden g_0 verdeutlicht die Abbildung 54.

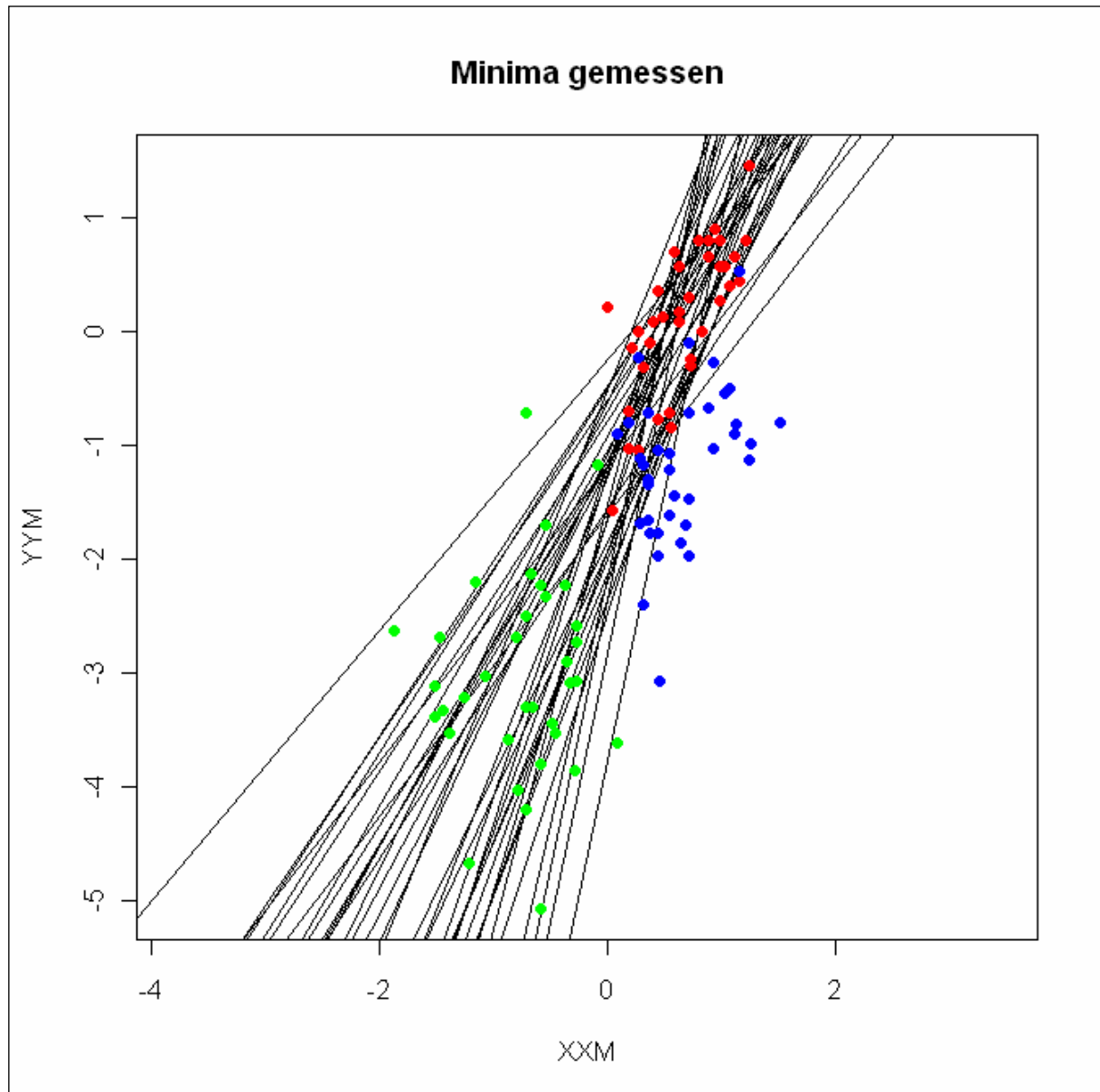


Abb. 54. Lagebeziehung der Geraden g_0 zu den Punkten P_{\min} (rot), P_{NM} (grün) und L_{\min} (blau).

4.2.3. Lage der Halswirbelsäule zur Geraden g_0

Aus den verknüpfenden Untersuchungen von FRS-Bildern mit den Daten aus Messungen von Mandibulabewegungen an jugendlichen Klasse-II-Patienten resultierte eine weitere Auffälligkeit.

Beim Überlagern der Konturlinien-Plots und FRS-Umriss-Folien verlief die Halswirbelsäule in 65% parallel zur Geraden g_0 (Abb. 55). Der Prozentwert entstand durch Auszählen der Lage in den jeweiligen Überlagerungen von FRS-Bild und Konturlinien-Plot.

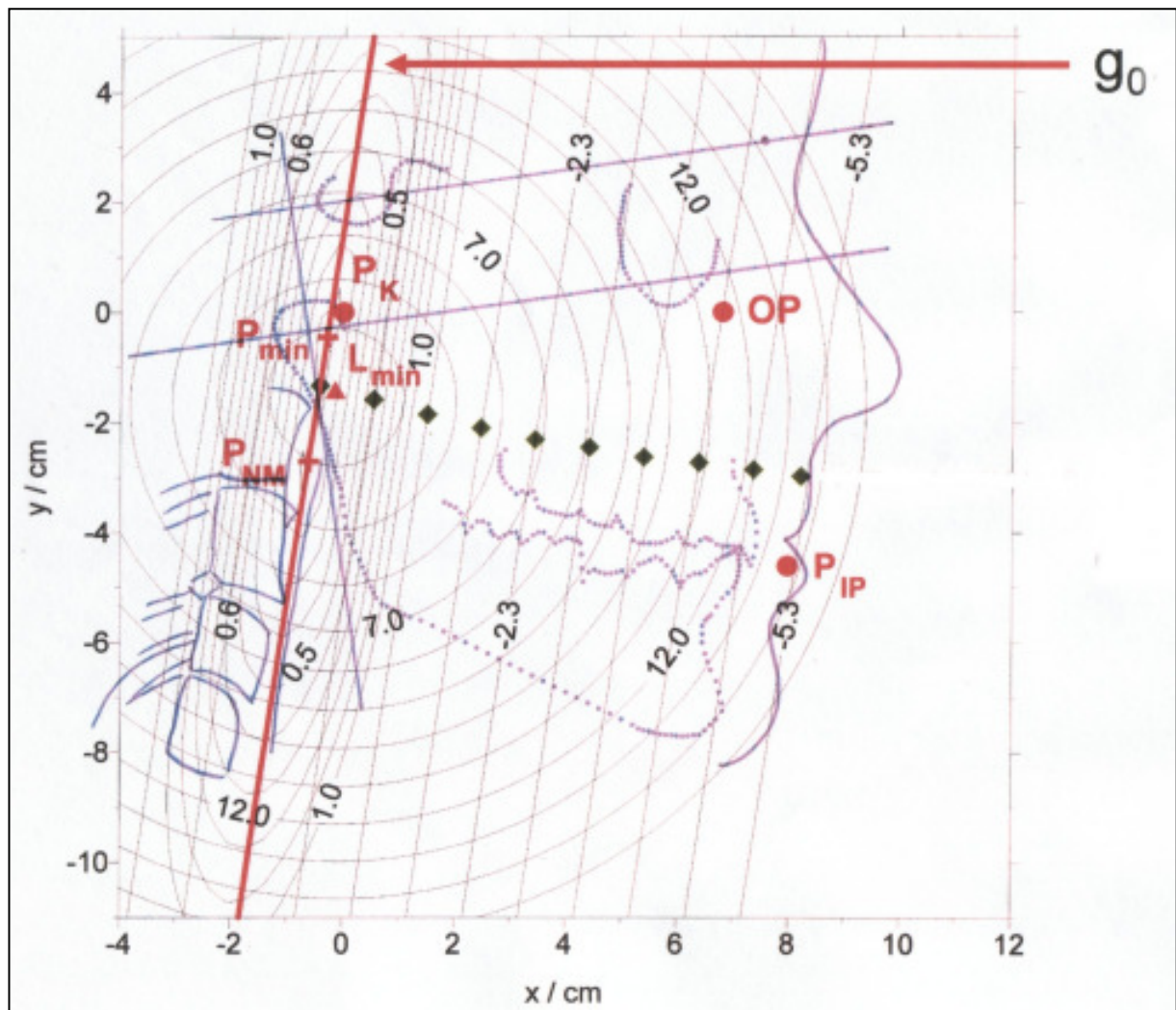


Abb. 55. Lagebeziehung der Geraden g_0 zur Halswirbelsäule.

4.2.4. Lage der y-Achse vom neuen Koordinatensystem zum aufsteigenden Unterkiefer-Ast

Auffällig bei der Konstruktion des neuen Koordinatensystems war die Lage der y-Achse. In 81% verlief die y-Achse parallel zum aufsteigenden Unterkiefer-Ast (Abb. 56).

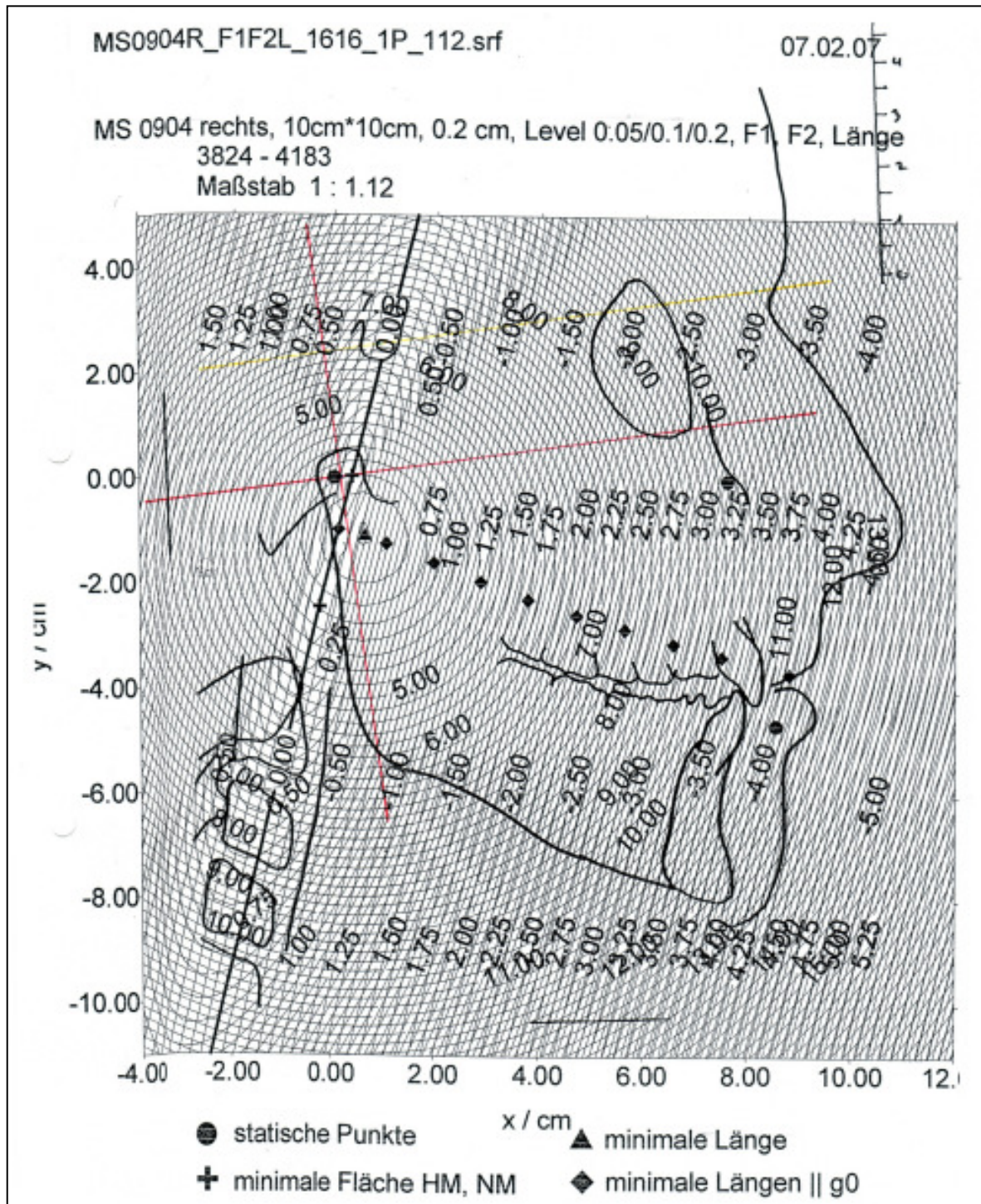


Abb. 56. Lage der y-Achse vom neuen Koordinatensystem häufig parallel zum aufsteigenden Unterkiefer-Ast.

4.2.5. Lage von MML im Vergleich zu WZL

Für die Klärung der Lagebeziehung von Minimal-/Maximal-Linie MML zur Linie der Widerstandszentren WZL werden die Zwischenwinkel von MML und WZL zum einen bis 10° und zum anderen bis 5° genauer untersucht.

78% haben einen Zwischenwinkel bis 10° , wovon 33% der Minimal-/Maximal-Linien MML unterhalb der Linie der Widerstandszentren WZL und 45% oberhalb von WZL liegen. Die übrigen 22% haben einen Zwischenwinkel größer als 10° .

56% haben einen Zwischenwinkel bis 5° , wovon 26% der Minimal-/Maximal-Linien MML unterhalb der Linie der Widerstandszentren WZL und 30 Prozent oberhalb von WZL liegen. Die übrigen 44% haben einen Zwischenwinkel größer als 5° .

Abbildung 57 zeigt die Lage von MML im Vergleich zu WZL. Die x-Achse entspricht der Linie der Widerstandszentren WZL. Auf der y-Achse ist der cm-Abstand von der Minimal-/Maximal-Linie MML zum Widerstandszentrum WZ aufgetragen. Das Widerstandszentrum WZ stellt den Nullpunkt des Koordinatensystems dar. In der Abbildung rechts ist die Legende zu den auf der y-Achse eingezeichneten cm-Abständen zum Widerstandszentrum WZ der FRS-Bild-/Konturlinien-Plot-Überlagerungen zu sehen.

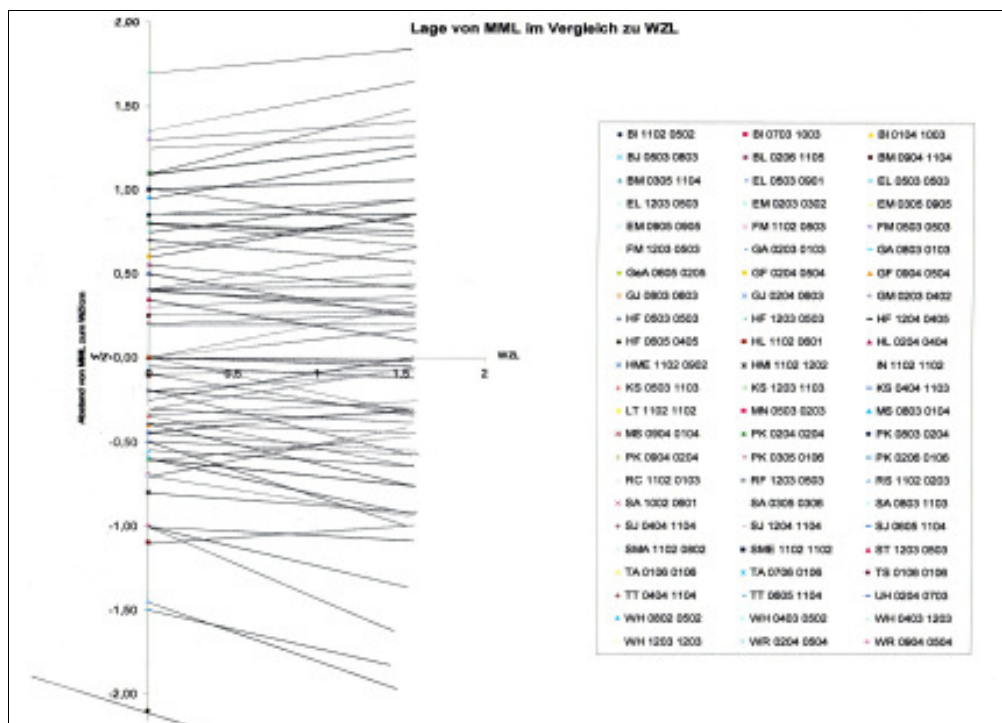


Abb. 57. Lage von MML im Vergleich zu WZL.

Die meisten Minimal-/Maximal-Linien kreuzen die y-Achse im Bereich von +1 cm und -0,75 cm.

Die Abbildung 58 zeigt die Häufigkeitsverteilung vom cm-Abstand MML zu WZ und bestätigt die Beobachtung zur Abbildung 57. Die größte Häufigkeit liegt im Bereich von -0,5 cm und +0,5 cm. Somit liegen 66,7% der Minimal-/Maximallinien MML im Bereich von 0,5 cm oberhalb und unterhalb vom Widerstandszentrum WZ und 33,3% außerhalb dieses Bereiches. Der Bereich mit den meisten Häufigkeiten liegt zwischen -1 cm und +1 cm. Dies macht 91,3% der Minimal-/Maximallinien MML in dem Bereich $WZ \pm 1$ cm auf der y-Achse aus.

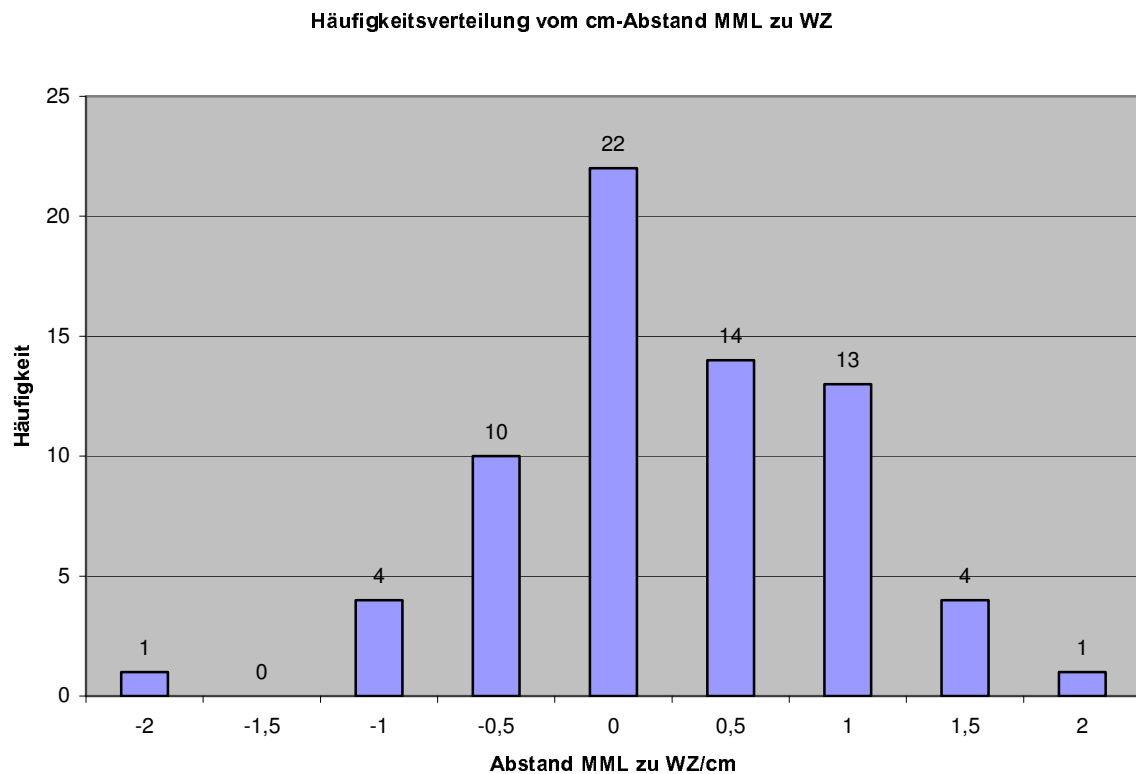


Abb. 58. Häufigkeitsverteilung vom cm-Abstand MML zu WZ.

Außerhalb des Bereiches von $-0,5$ cm und $+0,5$ cm verlaufen in Abbildung 57 (Lage von MML im Vergleich zu WZL) die meisten MML den Winkel betrachtend divergierend. Bei Betrachtung der Größe des Winkels zwischen MML und WZL läßt sich in Abbildung 59 eine ausgeprägte Häufigkeitsverteilung erkennen. Auf der x-Achse sind die Grad aufgetragen. Null stellt die Linie der Widerstandszentren WZL dar. Unterhalb der Linie der Widerstandszentren WZL sind die Winkel zur Minimal-/Maximallinie MML mit einem negativen Vorzeichen versehen und oberhalb verlaufende Minimal-/Maximallinien MML sind mit einem positiven Vorzeichen versehen. Auf der y-Achse ist die Häufigkeit abzulesen. Die rote Kurve ist der Kernschätzer, der klar unimodal ist. Die größte Häufigkeit der MML-WZL° liegt oberhalb der Linie der Widerstandszentren WZL zwischen 0° und 5° . Im Mittel beträgt der MML-WZL° $1,53^\circ$ und liegt unterhalb der Linie der Widerstandszentren WZL. Die Standardabweichung beträgt $7,86^\circ$. Ebenfalls unterhalb von WZL liegen der Median mit $0,5^\circ$ und der kleinste Wert mit $23,00^\circ$. Oberhalb von WZL liegt der größte Wert mit $14,00^\circ$.

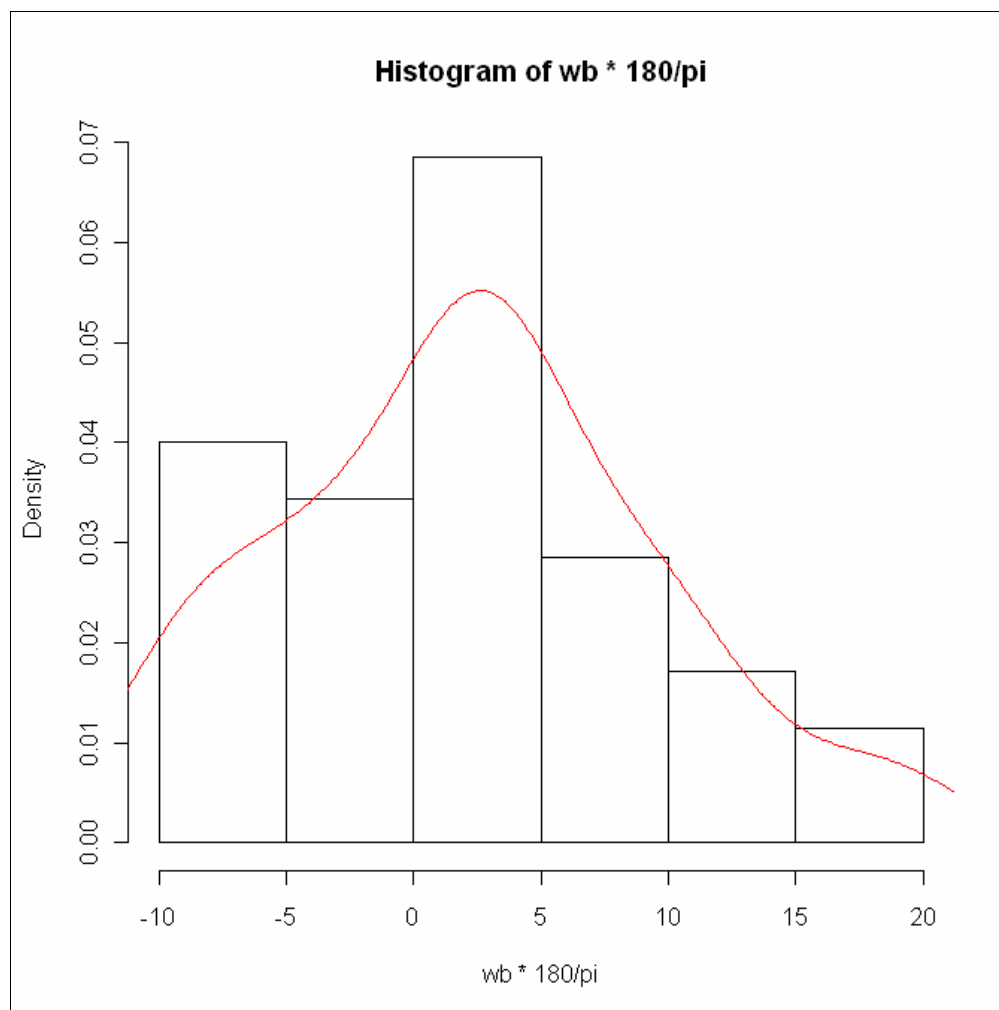


Abb. 59. Häufigkeitsverteilung von MML-WZL°.

In der Abbildung 60 sind die Linie der Widerstandszentren WZL und die Minimal-/Maximallinie MML für Patient MS 0904 eingezeichnet. Die Okklusionsebene OE liegt 10 mm unterhalb und parallel der Linie der Widerstandszentren WZL. Im Bereich der Oberkieferzähne ist ein graues Kästchen zwischen der Linie der Widerstandszentren WZL und der Okklusionsebene OE eingezeichnet. Das Widerstandszentrum WZ liegt auf der Linie der Widerstandszentren WZL im Bereich des ersten Oberkiefer-Molars (Kap. 3.2.6.).

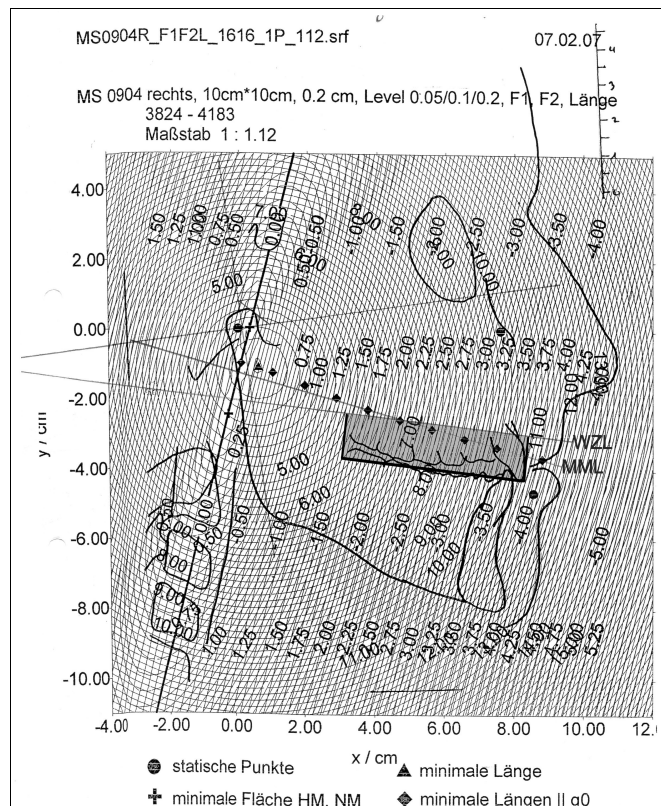


Abb. 60. Bereich der Oberkieferzähne zwischen WZL und MML (graues Kästchen).

Um die Lagebeziehungen aller Minimal-/Maximallinien MML der Patienten zur Linie der Widerstandszentren WZL genauer zu untersuchen, wird durch das Widerstandszentrum WZ senkrecht zur Linie der Widerstandszentren WZL (x-Achse) die y-Achse konstruiert. In dieses Koordinatensystem werden alle Minimal-/Maximallinien MML eingezeichnet. Die Skizze in Abbildung 61 zeigt die möglichen Lagen von den Minimal-/Maximallinien MML zu der Linie der Widerstandszentren WZL. Das rote Dreieck hat als Seiten die Minimal-/Maximallinie MML, die Linie der Widerstandszentren WZL und die Seite d (senkrecht) auf der y-Achse. Der Abstand d von der Minimal-/Maximallinie MML senkrecht durch das Widerstandszentrum WZ auf der y-Achse wird über den Kosinus berechnet, was mittels eines Histogramms (Abb. 62) überprüft und für näherungsweise richtig befunden werden kann. Es

sollte in etwa Null herauskommen. Das Histogramm ist in guter Näherung mit der Zeichengenauigkeit von <1mm verträglich.

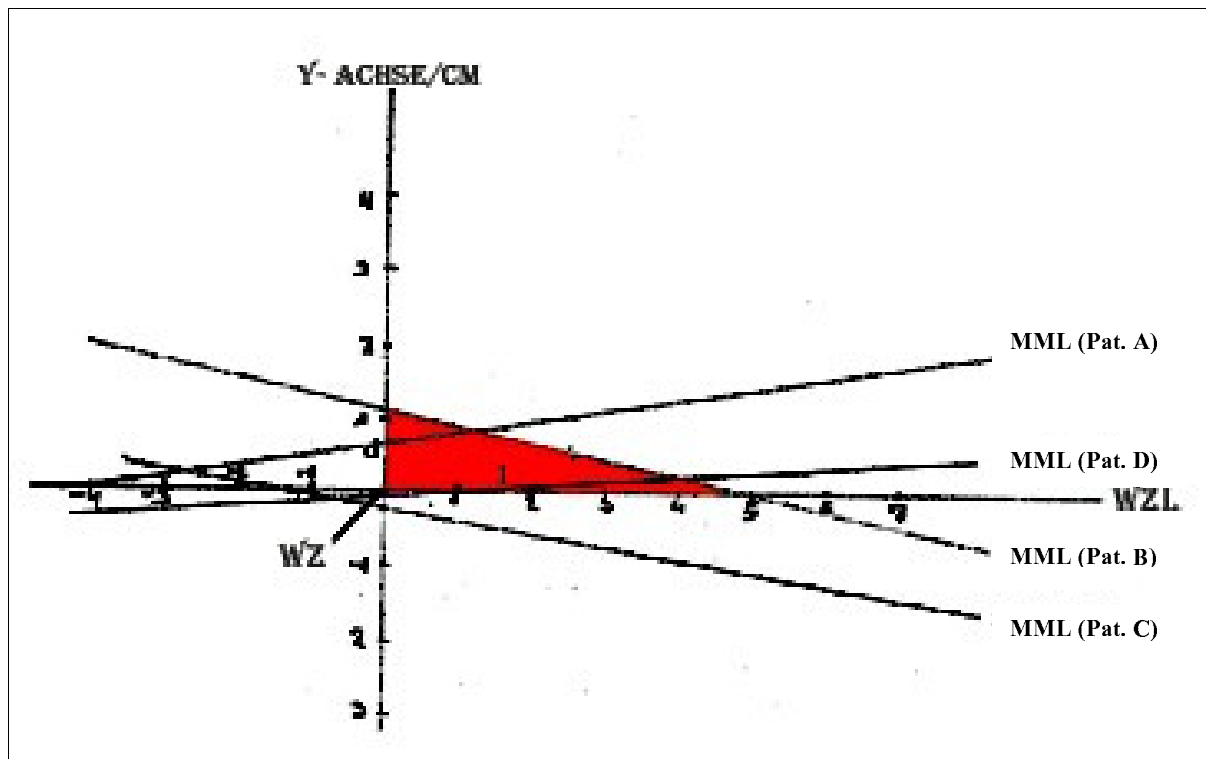


Abb. 61. Koordinatensystem durch WZ.

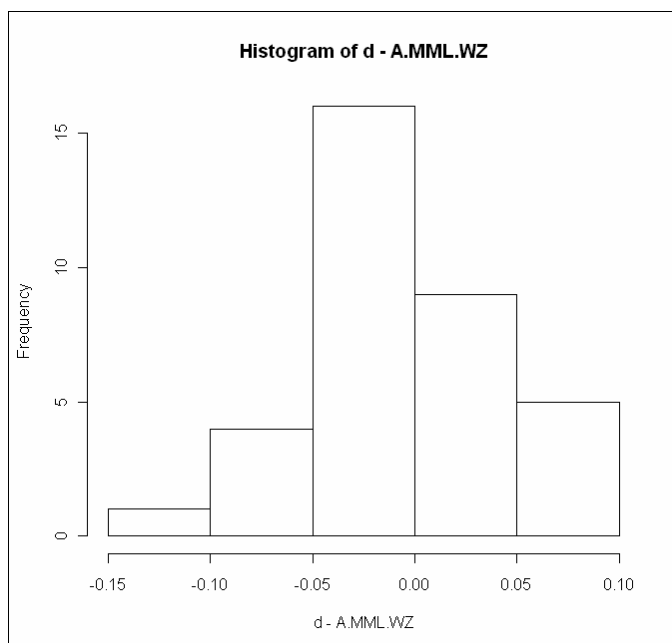


Abb. 62. Histogramm vom Abstand d von der Minimal-/Maximallinie MML senkrecht durch das Widerstandszentrum WZ auf der y-Achse.

Die Steigung t des betrachteten Dreiecks wird über den Tangens berechnet. Abbildung 63 zeigt das entsprechende Histogramm der Steigung t . Bei zwei Patienten ist die Steigung t gleich Null, weil die Minimal-/Maximallinie MML und die Linie der Widerstandszentren WZL parallel zueinander verlaufen.

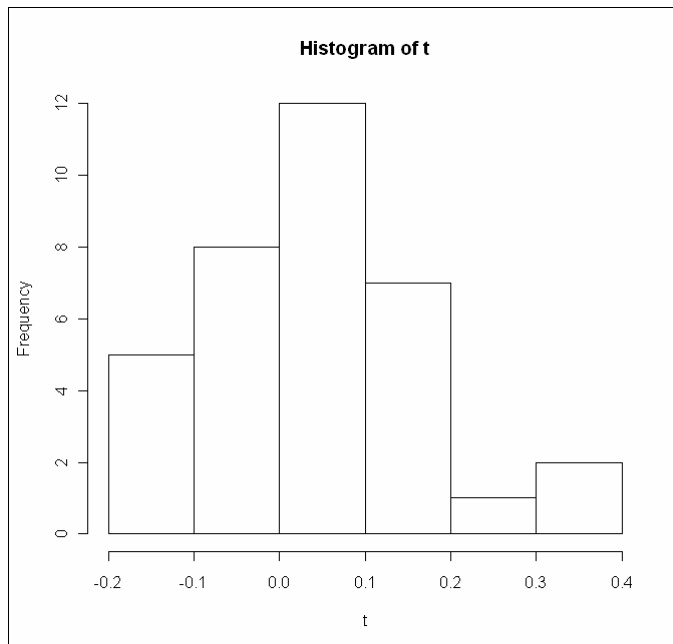


Abb. 63. Histogramm der Steigung t des betrachteten, roten Dreiecks.

Der Schnittpunkt von der Minimal-/Maximallinie MML mit der Linie der Widerstandszentren WZL ergibt sich mit dem Sinus, wobei die zwei Patienten mit parallel liegender Minimal-/Maximallinie MML zur Linie der Widerstandszentren WZL aus der Rechnung herausgelassen werden. Das folgende Histogramm in Abbildung 64 zeigt die Verteilung der Schnittpunkte von der Minimal-/Maximallinie MML mit der Linie der Widerstandszentren WZL. In dieser Abbildung ist eine Häufung von Werten knapp unterhalb der Null und Werte, die sowohl im positiven als auch im negativen Bereich liegen können, erkennbar.

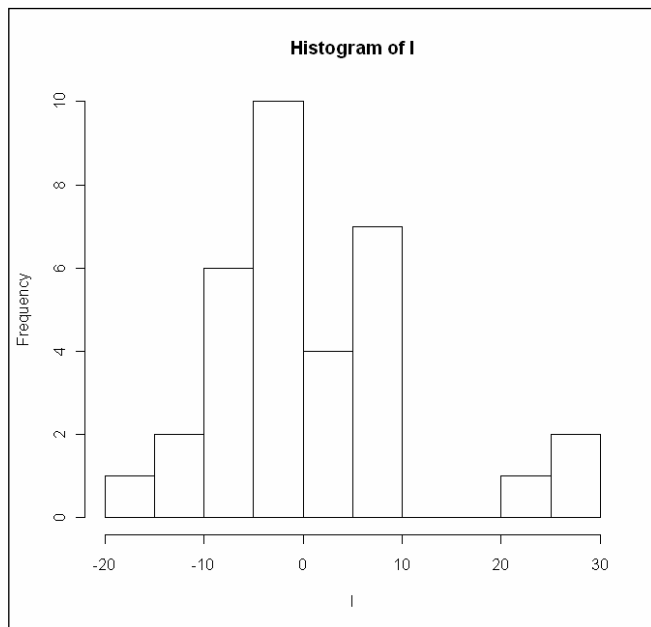


Abb. 64. Verteilung der Schnittpunkte von der Minimal-/Maximallinie MML mit der Linie der Widerstandszentren WZL.

Mit den Werten d (als Achsabschnitt) und t (als Steigung) kann man die Geraden der Minimal-/Maximallinien MML zur Linie der Widerstandszentren WZL in ihrer Gesamtheit darstellen (Abb. 65). Das blaue Rechteck in Abbildung 65 entspricht dem grauen Rechteck in Abbildung 60. Das blaue Rechteck ist der Bereich zwischen der Okklusionsebene OE und der Linie der Widerstandszentren WZL im Abschnitt WZ-1 bis WZ+6cm als Annäherung an den oberen Mundraum. Zwischen -3cm und 0cm, also dem WZ selber, verlaufen die Minimal-/Maximallinien MML (rot) nah beieinander. Das entspricht einer posterioren Lage vom Widerstandszentrum WZ. Die schwarze Kreise stellen die Schnittpunkte der Minimal-/Maximallinien MML mit der Linie der Widerstandszentren WZL bzw. der Senkrechten durch das Widerstandszentrum WZ dazu dar.

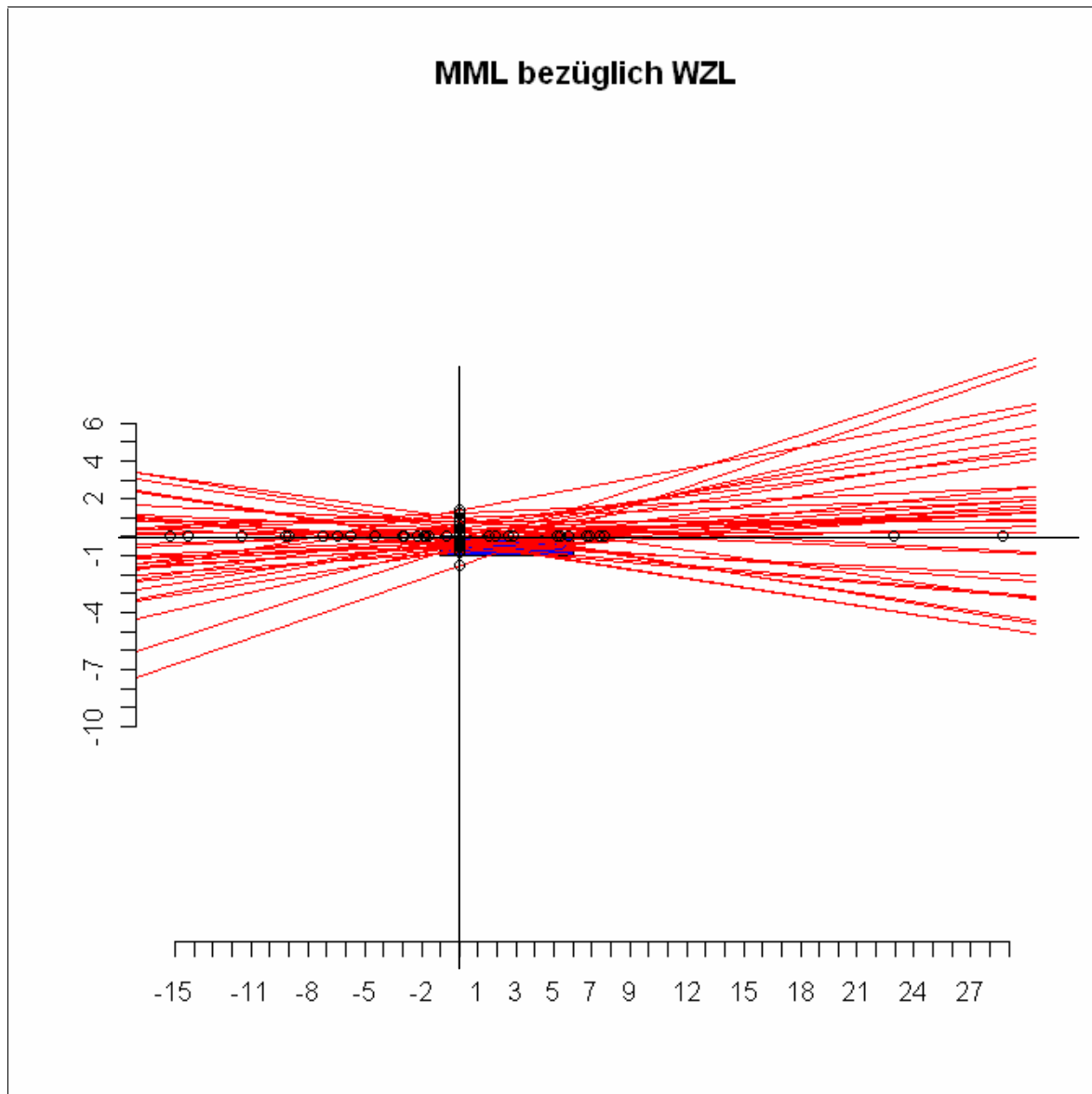


Abb. 65. Lagebeziehung der Minimal-/Maximallinien MML zur Linie der Widerstandszentren WZL.

Nun soll präzisiert werden, wie nah die Geraden zueinander verlaufen. Daher wird die Streuung der vertikalen Werte der Geraden in Abhängigkeit von der horizontalen Position auf der Okklusionsebene OE betrachtet. Zwischen -3cm und 0cm erhalten wir den folgenden Verlauf (Abb. 66):

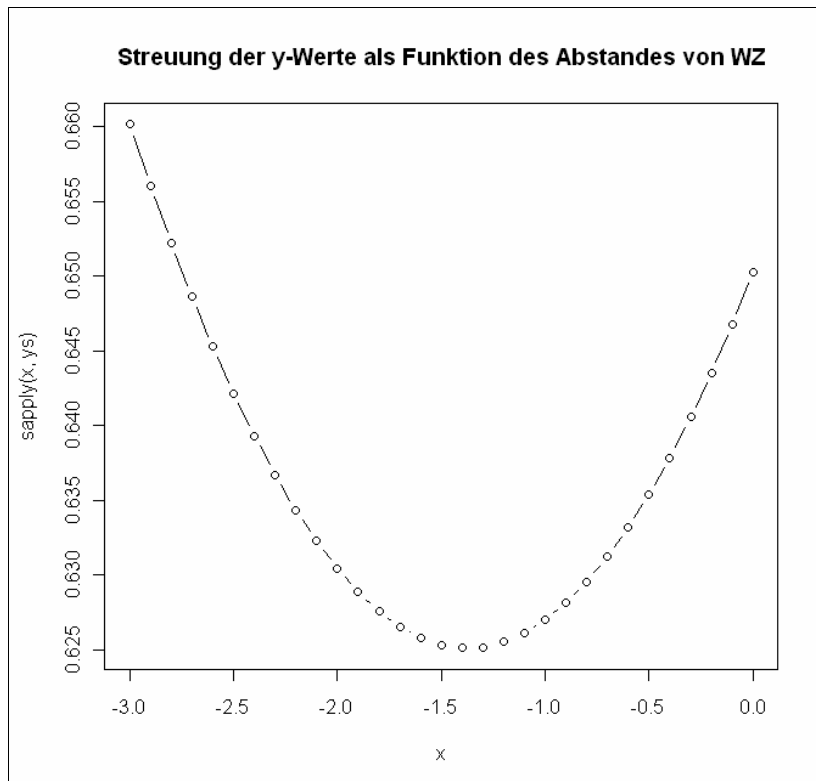


Abb. 66. Streuung der y-Werte der Minimal-/Maximallinien MML als Funktion des Abstandes vom Widerstandszentrum WZ.

Das klar erkennbare Minimum liegt bei -1.4 cm mit einem Wert von $sd = 0.6$. Die Minimal-/Maximallinien MML verlaufen also etwa 0 ± 0.6 cm ober- und unterhalb der Linie der Widerstandszentren WZL bei -1.4 cm (also posterior) vom Widerstandszentrum WZ. Das entspricht etwa dem ersten, oberen Molar.

Die enge Lage von den Minimal-/Maximallinien MML in Bezug zum ersten, oberen Molar wird noch deutlicher, wenn die topographische Lagebeziehung der Minimal-/Maximallinien MML zum ersten, oberen Molar weiter gegliedert wird. So erhält man durch Auszählen der Überlagerungen einen Prozentwert, wie viele Minimal-/Maximallinien MML außerhalb und innerhalb des ersten, oberen Molars verlaufen. Der Verlauf der Minimal-/Maximallinien MML innerhalb des ersten, oberen Molars wird weiter gegliedert in koronal und radikal verlaufende Minimal-/Maximallinien MML. Das Ergebnis zeigt deutliche Prozentwerte: 52,2% der Minimal-/Maximallinien MML verlaufen durch die Wurzel des ersten, oberen Molars und 27,5% durch den koronalen Anteil. Damit liegen 79,9% innerhalb des ersten, oberen Molars. 17,4% der Minimal-/Maximallinien MML verlaufen kranial des ersten, oberen

Molars und 2,9% kaudal. Somit liegen nur 20,3% aller Minimal-/Maximallinien MML außerhalb des ersten, oberen Molars.

Für den oberen, mittleren Inzisivus wird der Verlauf der Minimal-/Maximallinien MML ebenso wie oben beschrieben für den ersten, oberen Molar anhand der Überlagerungen ausgezählt: 47,8% der Minimal-/Maximallinien MML verlaufen durch die Wurzel des oberen, mittleren Inzisivus und 31,9% durch den koronalen Anteil. Damit liegen 79,7% innerhalb des oberen, mittleren Inzisivus. 5,8% der Minimal-/Maximallinien MML verlaufen kranial des oberen, mittleren Inzisivus und 14,5% kaudal. Somit liegen nur 20,3% aller Minimal-/Maximallinien MML außerhalb des oberen, mittleren Inzisivus. Die Prozentwerte der innerhalb und außerhalb vom oberen, mittleren Inzisivus verlaufenden Minimal-/Maximallinien MML entsprechen denen des ersten, oberen Molars.

4.2.6. Abstand MML zu Cp und Abstand WZL zu Cp

Bei Betrachtung des cm-Abstandes von der Minimal-/Maximal-Linie MML zum Kondylusmittelpunkt Cp ist auffällig, dass wenige Minimal-/Maximal-Linien MML oberhalb und die meisten unterhalb des Kondylusmittelpunktes Cp liegen. Der Mittelwert liegt unterhalb des Kondylusmittelpunktes Cp mit einem Abstand von 1,17 cm und einer Standardabweichung von 0,82 cm. Der Median liegt ebenfalls unterhalb des Kondylusmittelpunktes Cp mit einem Abstand von 1,20 cm. Der größte Abstand unterhalb des Kondylusmittelpunktes Cp ist bei 3,20 cm und oberhalb bei 0,80 cm. Wie die Häufigkeitsverteilung vom cm-Abstand MML zu Cp in Abbildung 67 zeigt, verlaufen die meisten Minimal-/Maximal-Linien MML unterhalb des Kondylusmittelpunktes Cp im Bereich von 0,0 cm bis -1,5 cm.

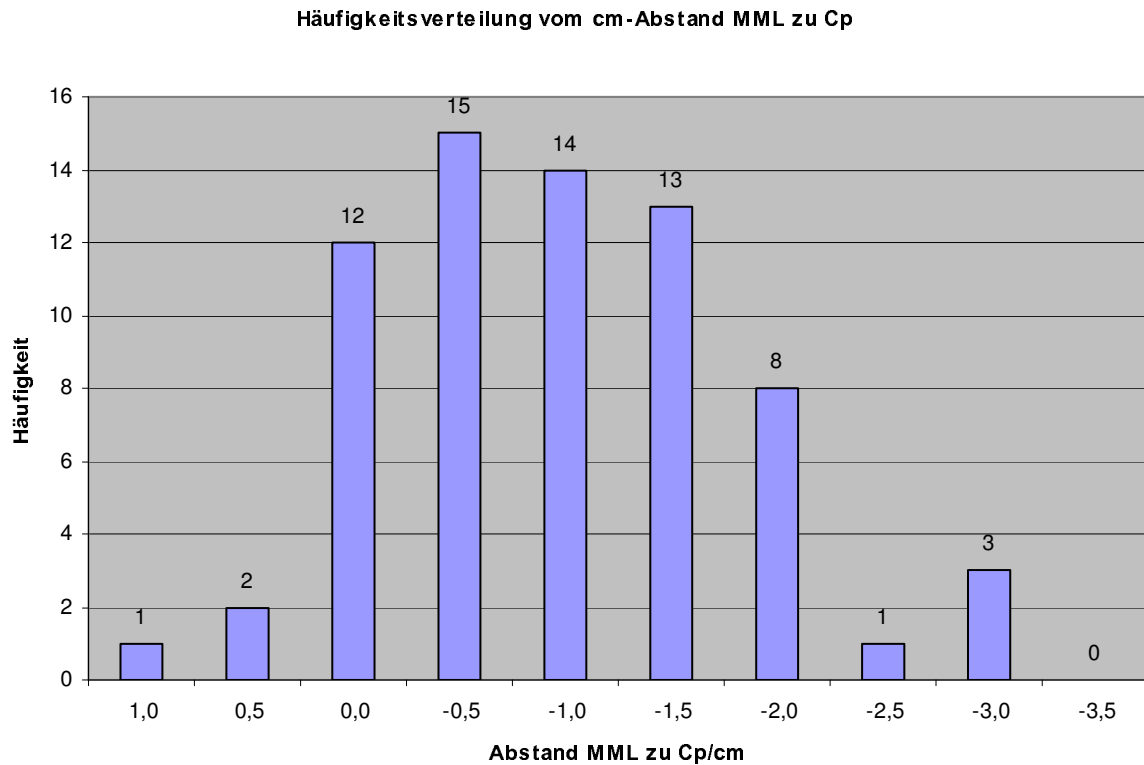


Abb. 67. Häufigkeitsverteilung vom cm-Abstand MML zu Cp.

Bei Betrachtung des cm-Abstandes von der Linie der Widerstandszentren WZL zum Kondylusmittelpunkt Cp ist auffällig, dass alle Linien der Widerstandszentren WZL unterhalb des Kondylusmittelpunktes Cp liegen. Der Mittelwert liegt unterhalb des Kondylusmittelpunktes Cp mit einem Abstand von 1,48 cm und einer Standardabweichung von 0,60 cm. Ebenso liegt der Median unterhalb des Kondylusmittelpunktes Cp mit einem Abstand von 1,50 cm. Der größte Abstand unterhalb des Kondylusmittelpunktes Cp beträgt 2,80 cm und kleinste Abstand 0,10 cm. Wie die Häufigkeitsverteilung vom cm-Abstand WZL zu Cp in Abbildung 68 zeigt, verlaufen die meisten Linien der Widerstandszentren WZL unterhalb des Kondylusmittelpunktes Cp im Bereich von -0,5 cm bis -1,5 cm.

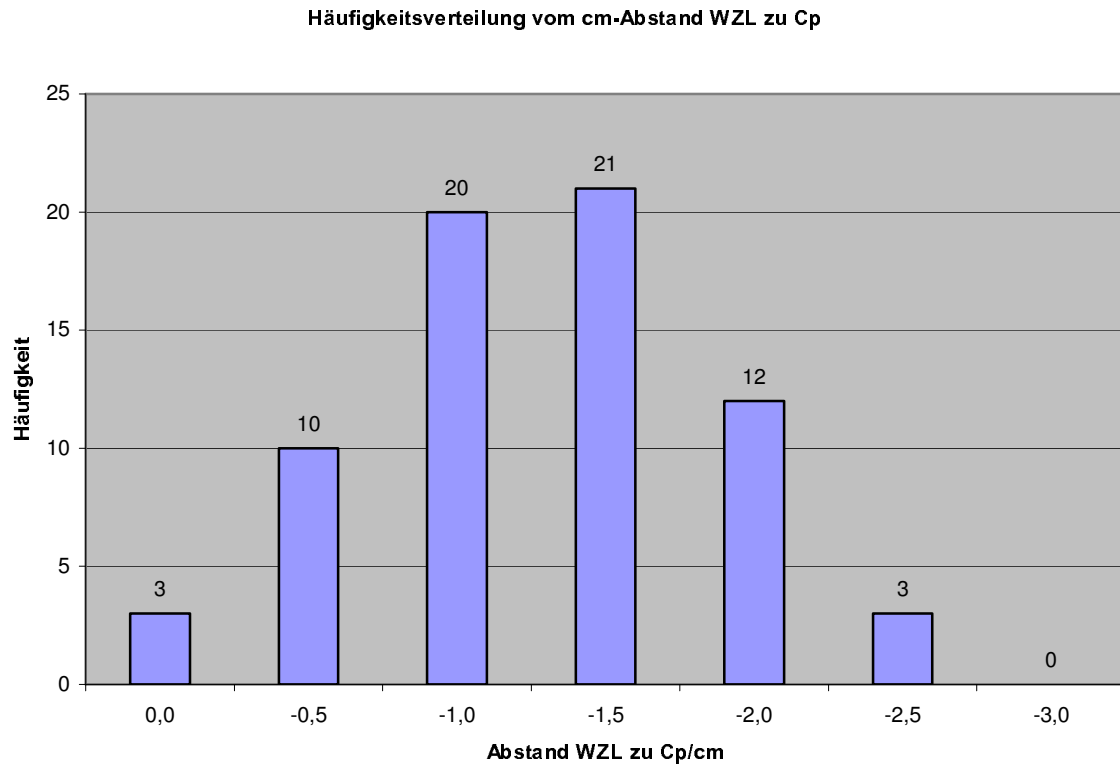


Abb. 68. Häufigkeitsverteilung vom cm-Abstand WZL zu Cp.

4.2.7. Lage von MML zur x-Achse

Werden die Schnittpunkte der Minimal-/Maximal-Linien MML mit der x-Achse des neu eingeführten Koordinatensystems betrachtet, so ist in Abbildung 69 und Abbildung 70 erkennbar, dass die meisten Schnittpunkte von MML mit der x-Achse im Bereich von -6,0 cm und 0,0 cm liegen. Der minimale Wert beträgt -13,60 cm und der maximale Wert 1,60 cm. Der Mittelwert beträgt -3,37 cm, die Standardabweichung 3,14 cm und der Median -2,50 cm.

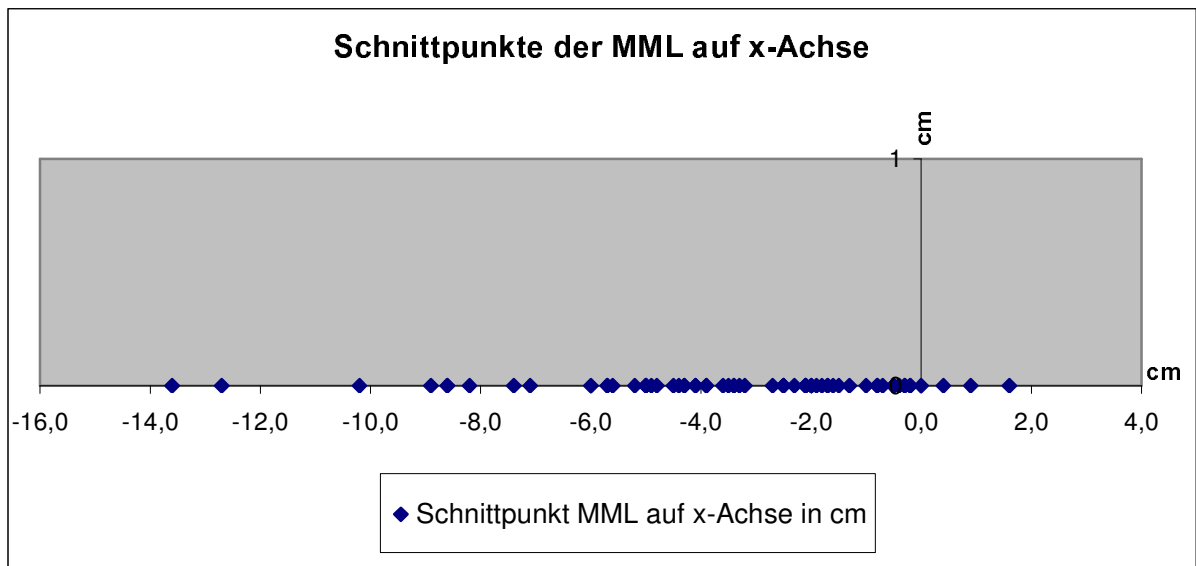


Abb. 69. Schnittpunkt der MML auf der x-Achse.

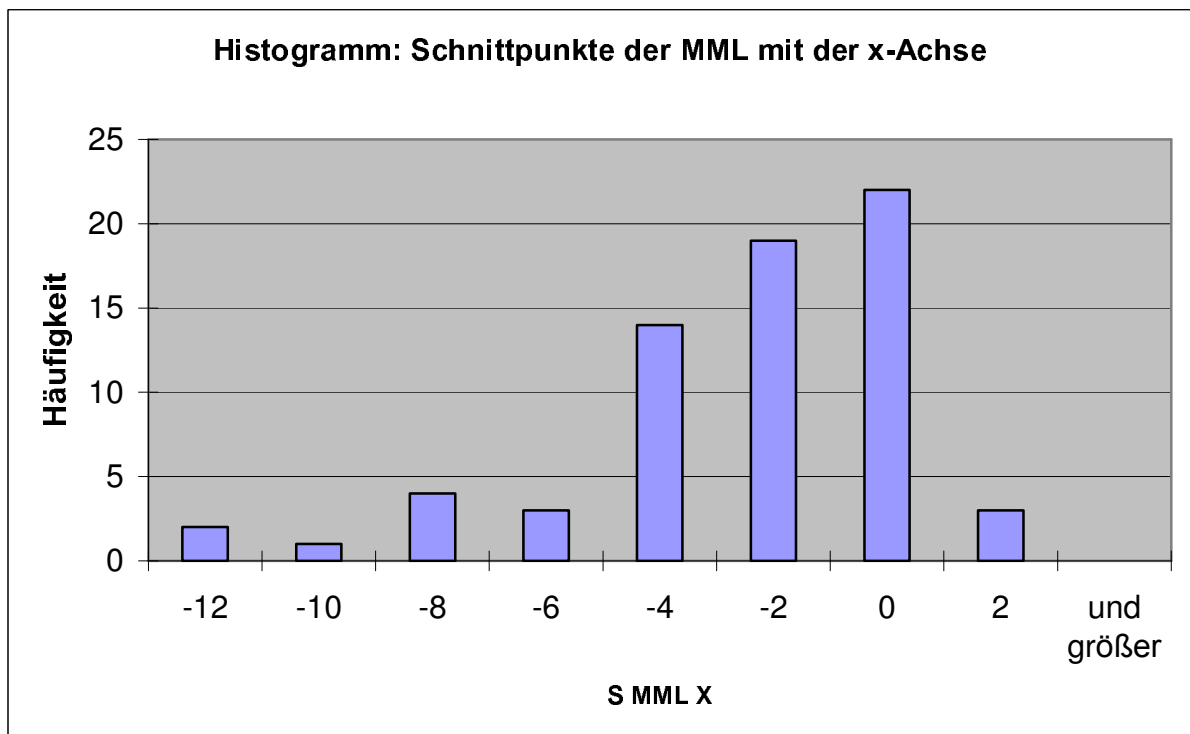


Abb. 70. Histogramm zu den Schnittpunkten der MML mit der x-Achse.

In Abbildung 71 ist der Boxplot zum Winkel von der Minima-/Maximal-Linie MML zur x-Achse dargestellt. Auf der x-Achse ist der MML° zur x-Achse aufgetragen und auf der y-

Achse die Winkelgrößen. Der Mittelwert vom MML° zur x-Achse beträgt 24,78°, die Standardabweichung 7,51°, der Median 24,50°, der kleinste Winkel 12,00° und der größte Winkel 46,00°.

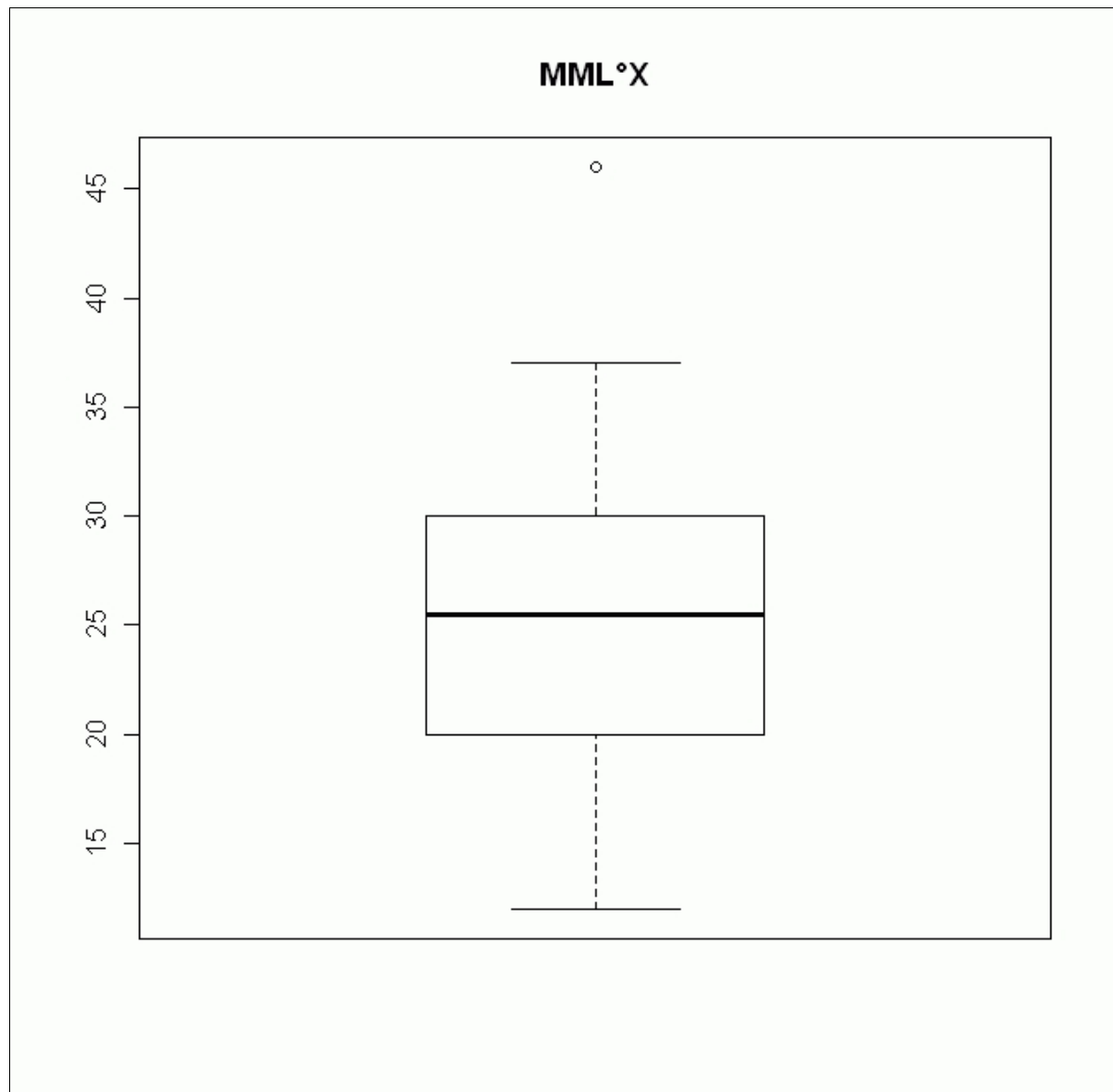


Abb. 71. Boxplot MML° zur x-Achse.

4.2.8. Lage von WZL zur x-Achse

Werden die Schnittpunkte der Linien der Widerstandszentren WZL mit der x-Achse des neu eingeführten Koordinatensystems betrachtet, so ist in Abbildung 72 und Abbildung 73 erkennbar, dass die meisten Schnittpunkte von WZL mit der x-Achse im Bereich von -6,0 cm und -1,0 cm liegen. Der minimale Wert beträgt -8,90 cm und der maximale Wert -0,10 cm. Der Mittelwert beträgt -3,93 cm, die Standardabweichung 1,98 cm und der Median -3,70 cm.

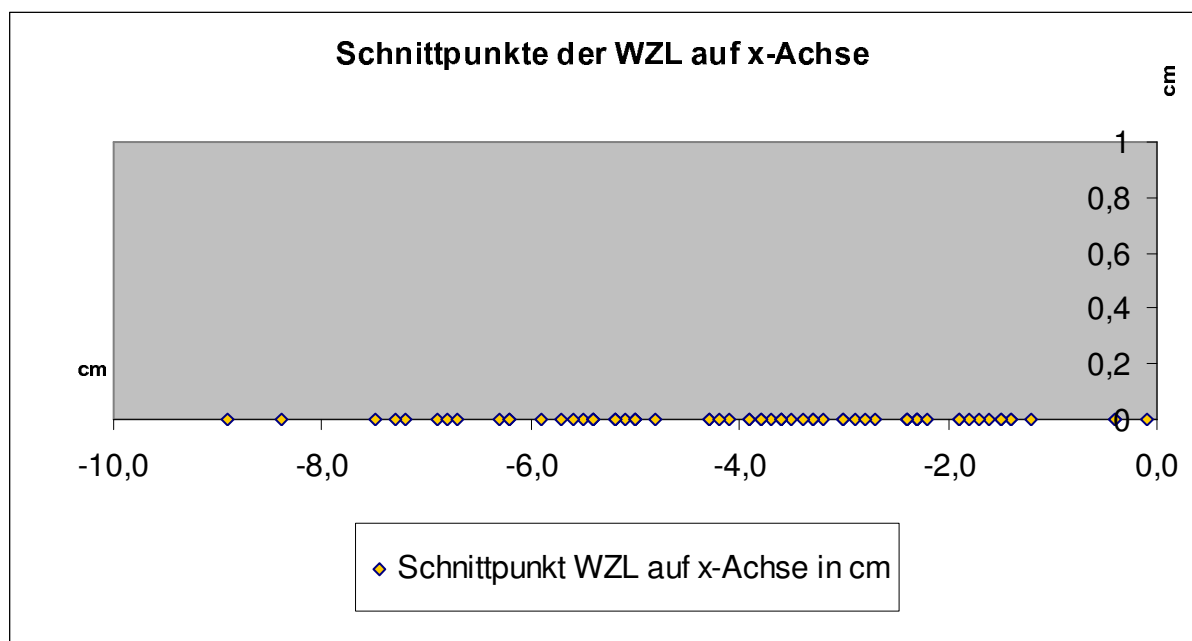


Abb.72. Schnittpunkt der WZL auf der x-Achse.

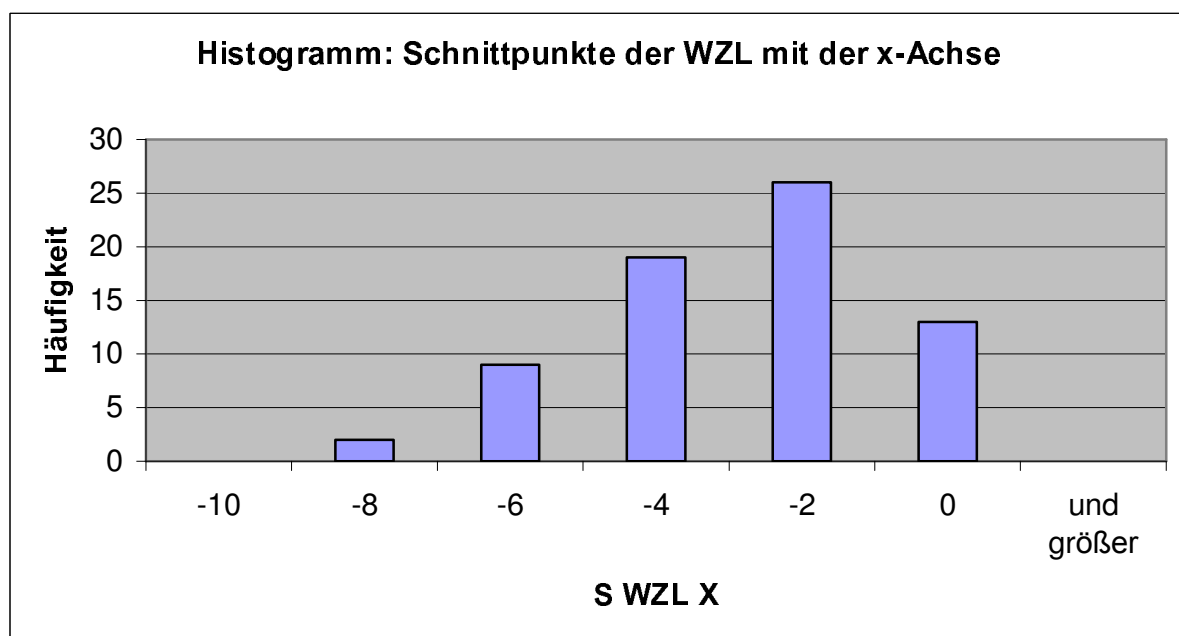


Abb. 73. Histogramm zu den Schnittpunkten der WZL mit der x-Achse.

In Abbildung 74 ist der Boxplot zu den Winkeln der Linien des Widerstandszentrums WZL zur x-Achse dargestellt. Auf der x-Achse ist der WZL° zur x-Achse dargestellt und auf der y-Achse die Winkelgrößen. Der Mittelwert vom WZL° zur x-Achse beträgt $22,94^\circ$, die Standardabweichung $4,35^\circ$, der Median $22,00^\circ$, der kleinste Winkel $15,00^\circ$ und der größte Winkel $34,50^\circ$.

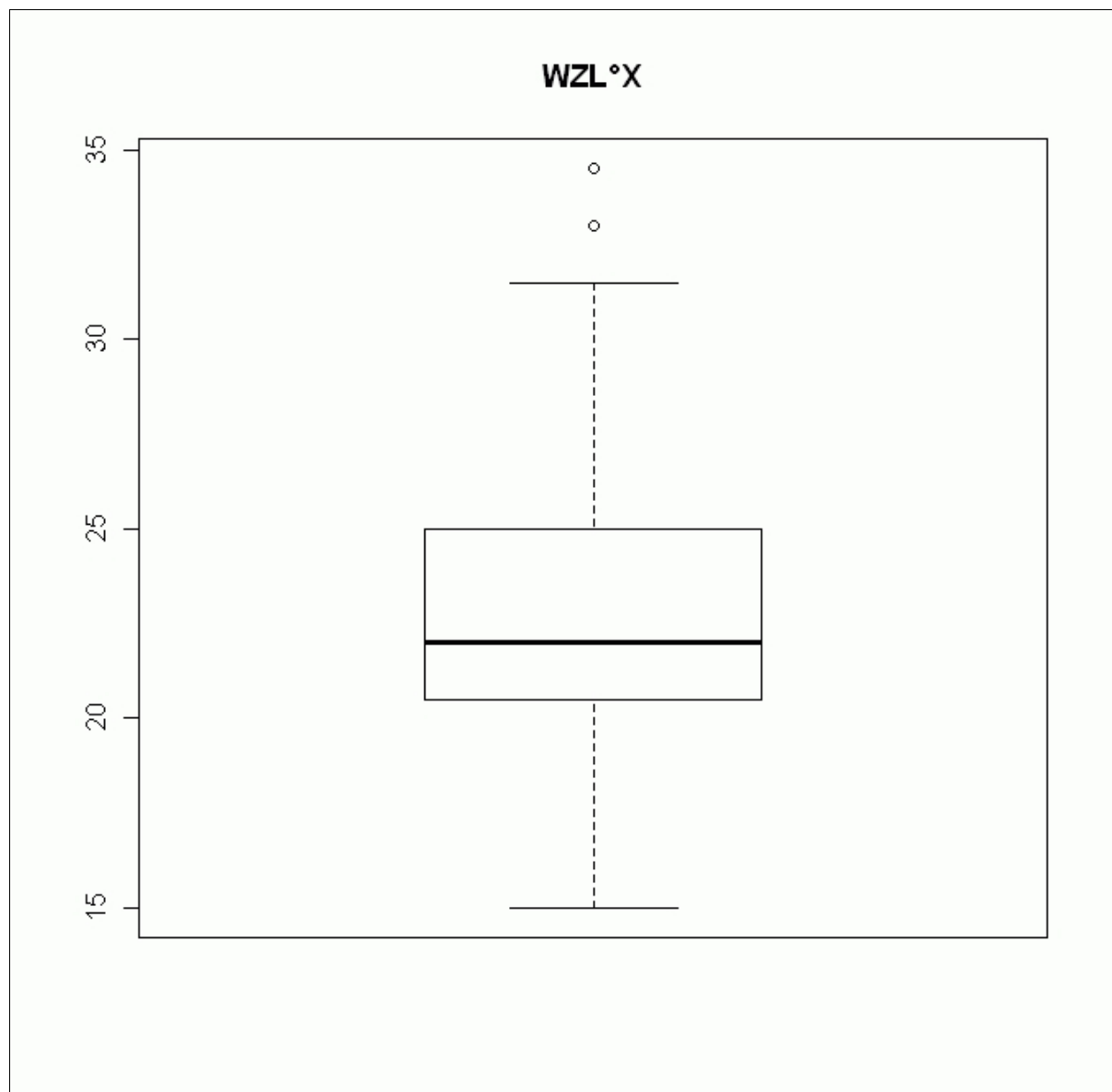


Abb. 74. Boxplot WZL° zur x-Achse.

4.2.9. Abstand des UK-Inzispunktes zur y-Achse und funktionelle Länge der Mandibula

Bei Betrachtung des Abstandes des Unterkiefer-Inzispunktes zur y-Achse (A.UK.I.Y) und der funktionelle Länge der Mandibula (FLM) ist bei beiden prägnant, dass beide konstant um einen Wert schwanken.

Der Mittelwert des cm-Abstandes des Unterkiefer-Inzispunktes zur y-Achse (A.UK.I.Y) beträgt 7,47 cm und hat eine Standardabweichung von 0,48 cm (Tab. 3). Der Median, sowie der minimale und der maximale Wert sind berechnet worden und können ebenfalls der oben genannten Tabelle entnommen werden.

Der Mittelwert der funktionalen Länge der Mandibula (FLM) beträgt 9,4 cm und hat eine Standardabweichung von 0,57 cm (Tab. 3). Der Median, sowie der minimale und der maximale Wert sind berechnet worden und können ebenfalls der oben genannten Tabelle entnommen werden.

Tab. 3. Mittelwert, Median, Standardabweichung, min. Wert und max. Wert für den Abstand des Unterkiefer-Inzispunktes zur y-Achse (A.UK.I.Y) und für die funktionale Länge der Mandibula (FLM).

Variable	Mittelwert	Median	Standardabweichung	min. Wert	max. Wert
A.UK.I.Y	7,44 cm	7,40 cm	0,48 cm	6,30 cm	8,40 cm
FLM	9,36 cm	9,35 cm	0,57 cm	8,10 cm	10,60 cm

4.2.10. Histogramm zum Alter der untersuchten Patientengruppe

Ein Histogramm zum Alter der untersuchten Patientengruppe kann sowohl mit den Erstellungsdaten der FRS-Bilder als auch mit den Erstellungsdaten der Messungen mit dem Ultraschall-Messgerät CMS-JMA der Firma Zebris Medizintechnik (Isny, Deutschland) dargestellt werden. Dabei ergeben sich unterschiedliche Histogramme. Die Abbildung 75 demonstriert das Histogramm in Abhängigkeit zu den Erstellungsdaten der FRS-Bilder und Abbildung 76 zeigt das Histogramm in Abhängigkeit zu den Erstellungsdaten der Messungen mit dem Ultraschall-Messgerät CMS-JMA der Firma Zebris Medizintechnik (Isny, Deutschland).

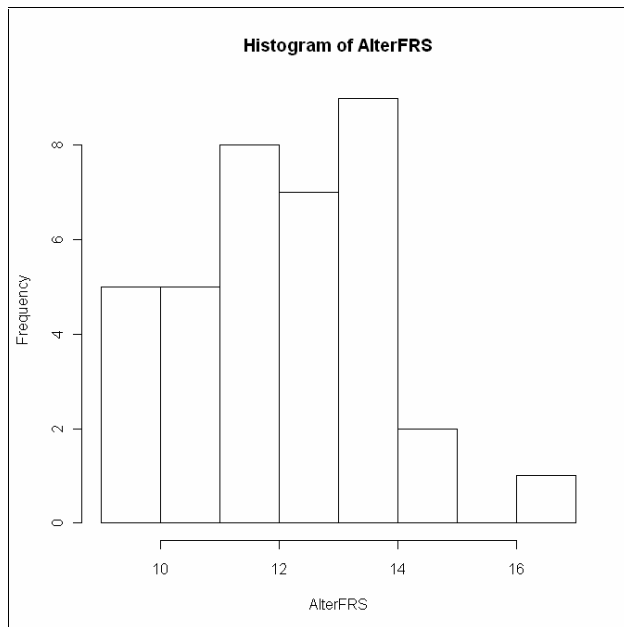


Abb. 75. Histogramm in Abhängigkeit zu den Erstellungsdaten der FRS-Bilder.

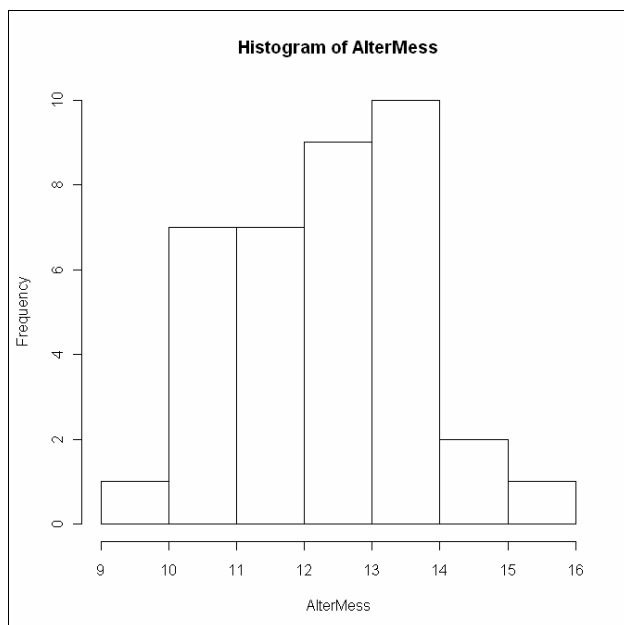


Abb. 76. Histogramm in Abhängigkeit zu den Erstellungsdaten der Messungen mit dem Ultraschall-Messgerät CMS-JMA der Firma Zebris Medizintechnik (Isny, Deutschland).

4.2.11. Boxplot für den kompletten Datensatz

In der Abbildung 77 ist für jede Variable des kompletten Datensatzes ein Boxplot dargestellt. Die weißen Kästchen stellen den Mittelwert mit Standardabweichung dar. Die horizontalen, dicken, schwarzen Striche sind die Medianwerte der einzelnen Variablen. Die horizontale, dünne, schwarze Strich oberhalb der gestrichelten, vertikalen Linie ist der maximale Wert der Variable und unterhalb der gestrichelten, schwarzen Linie der minimale Wert der Variable. Die Punkte stellen Ausreißer in der Messreihe dar. Auf der x-Achse sind die Variablen dargestellt, die y-Achse zeigt die Größe in der entsprechenden Maßeinheit jeder Variable. Die Abkürzungen der Variablen können der Legende für Abkürzungen in Kapitel 7 entnommen werden.

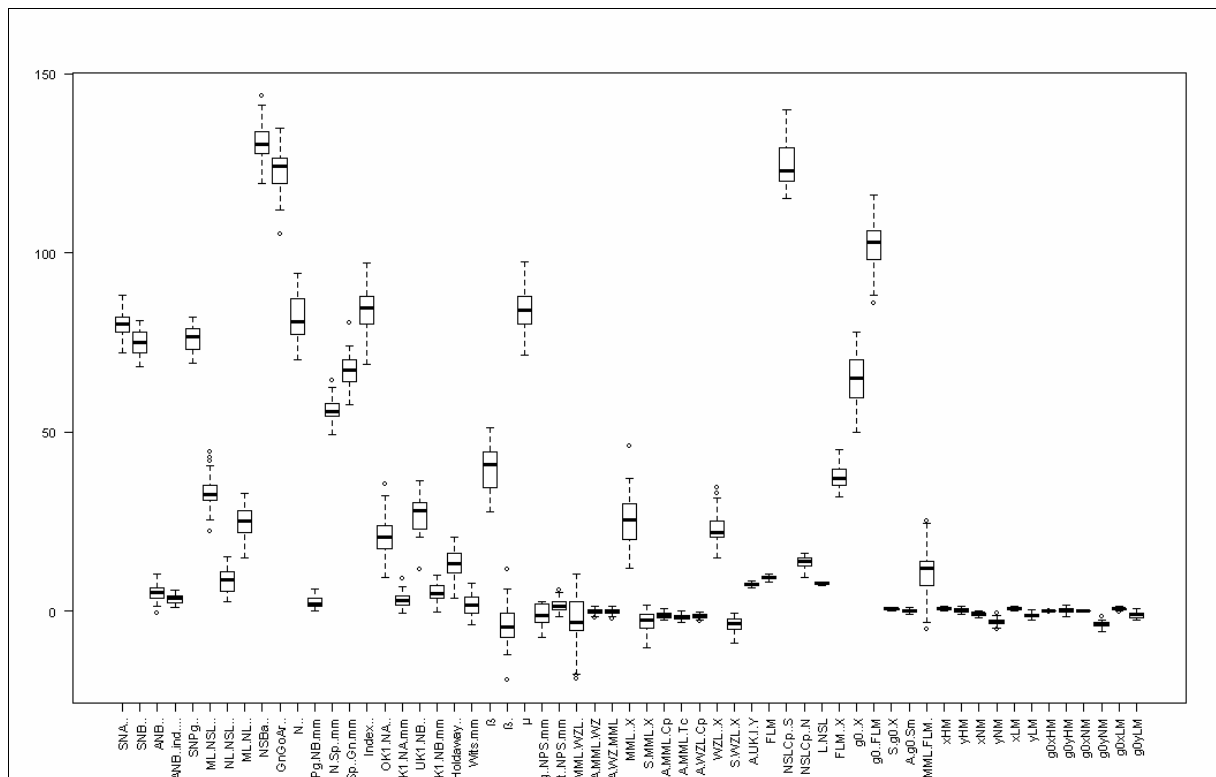


Abb. 77. Boxplots zur Darstellung aller Variablen aus dem kompletten Datensatz.

4.2.12. Korrelationen im Datensatz

Ziel dieser Dissertation ist es, Zusammenhänge zwischen den kephalometrischen und den kinematischen Variablen zu finden. Eine mögliche Beziehung zwischen kephalometrischen Variablen und kinematischen Variablen wird mit einer Korrelationsberechnung untersucht. Dazu werden bestehenden Korrelationen im Datensatz mit allen Patienten ohne fehlende Werte berechnet.

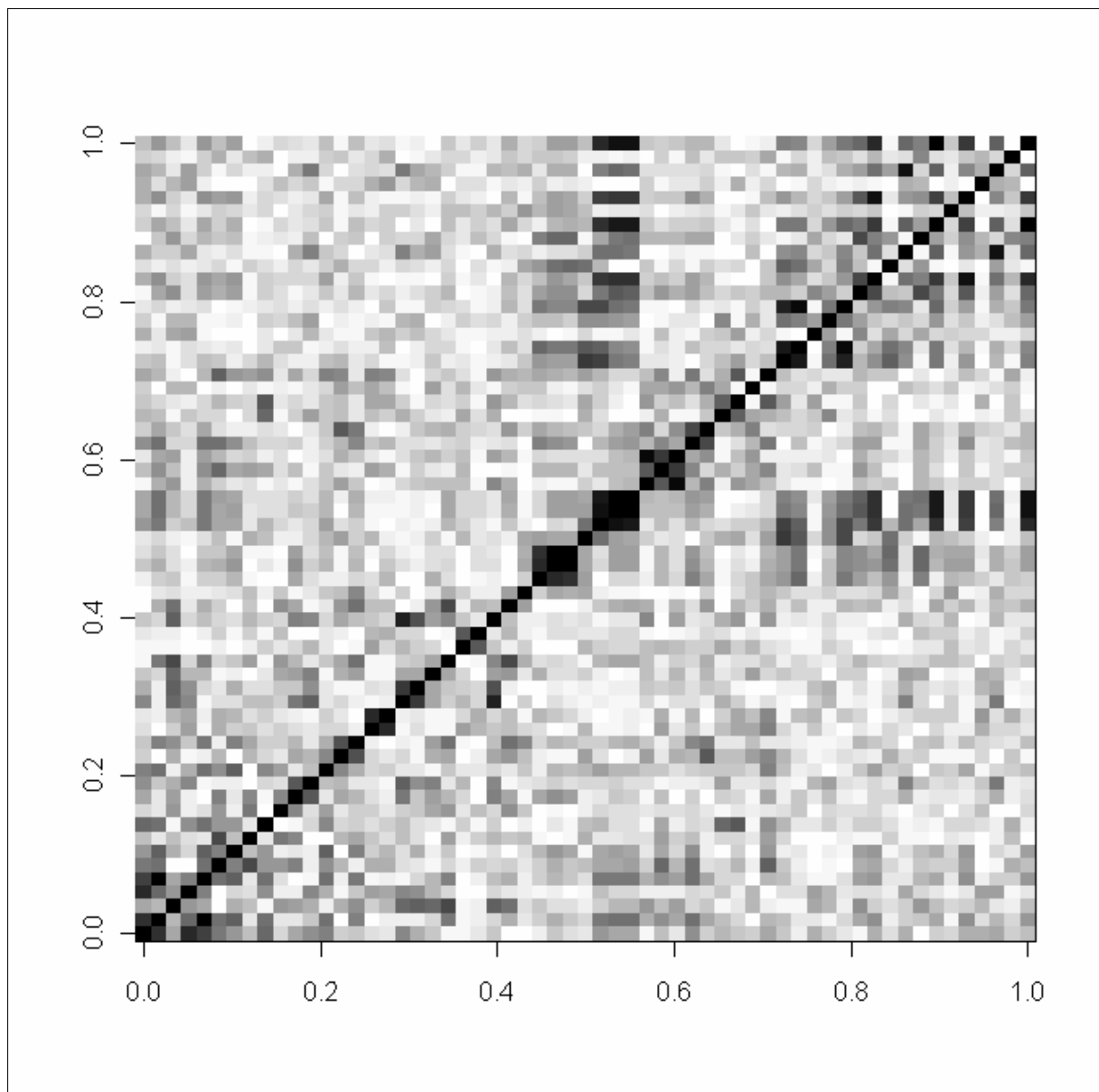


Abb. 78. Korrelationen im Datensatz; Kästchen-Variablen-Zuordnung auf x- und y-Achse siehe Tabelle 4, weiße Kästchen = geringe Korrelation, schwarze Kästchen = hohe Korrelation, Graustufen = je dunkler das Grau, desto höher die Korrelation.

In der Abbildung 78 sind die Korrelationen aus dem Datensatz mit allen Patienten ohne fehlende Werte dargestellt. Auf der x-Achse sind die Variablen von links nach rechts und auf der y-Achse von unten nach oben wie in der folgenden Tabelle 4 dargestellt:

Tab. 4. Kästchen-Variablen-Zuordnung zur Abbildung 78, in welcher die Reihenfolge der Kästchen auf der x-Achse von links nach rechts und auf der y-Achse von unten nach oben ist.

Kästchen	Variable	Kästchen	Variable	Kästchen	Variable
1	SNA°	21	Wits mm	41	L NSL
2	SNB°	22	β	42	FLM° X
3	ANB°	23	β'	43	g0° X
4	ANB (ind.)°	24	μ	44	g0° FLM
5	SNPg°	25	sag. NSP mm	45	S g0 X
6	ML-NSL°	26	vert. NSP mm	46	A g0 Sm
7	NL-NSL°	27	MML-WZL°Ö	47	MML-FLM°
8	ML-NL°	28	A MML-WZ	48	xHM
9	NSBa°	29	A WZ-MML	49	yHM
10	GnGoAr°	30	MML° X	50	xNM
11	N°	31	S MML X	51	yNM
12	Pg-NB mm	32	A MML-Cp	52	xLM
13	N-Sp' mm	33	A MML-Tc	53	yLM
14	Sp'-Gn mm	34	A WZL-Cp	54	g0xHM
15	Index %	35	WZL° X	55	g0yHM
16	OK1-NA°	36	S WZL X	56	g0xNM
17	OK1-NA mm	37	A UK-I Y	57	g0yNM
18	UK1-NB°	38	FLM	58	g0xLM
19	UK1-NB mm	39	NSLCp° S	59	g0yLM
20	Holdaway°	40	NSLCp° N		

Die Abkürzungen der Variablen können der Legende für Abkürzungen in Kapitel 7 entnommen werden.

Weißer Kästchen bedeuten eine geringe Korrelation (=0), schwarzer Kästchen eine hohe Korrelation (= +/- 1). Zwischen weiß und schwarz gibt es verschiedene Graustufen. Je dunkler das Grau ist, desto höher ist die Korrelation der Variablen.

Alle Variablen sind mit sich selbst korreliert, was an den diagonal von links unten nach rechts oben verlaufenden schwarzen Kästchen erkennbar ist. Zusätzlich gibt es in der Graphik unten links und oben rechts einen Bereich mit Variablen, die miteinander höher korrelieren. Ein weiterer Bereich, in dem die Variablen höher korrelieren, ist ausgehend von der Mitte der Graphik nach oben und nach rechts zu erkennen.

Bei Betrachtung der Korrelationen größer als 0,8 bzw. kleiner als - 0,8 ergeben sich analog zur Abbildung 78 die in der Tabelle 5 dargestellten hohen Korrelationen.

Tab. 5. Korrelationen größer als 0,8 bzw. kleiner als -0,8.

Variable	mit Variable(n)	Wert
SNA°	ANB (ind.)°	0,84
SNB°	SNPg°	0,98
OK1-NA°	OK1-NA mm	0,84
UK1-NB°	μ	-0,86
MML-WZL°	A WZ-MML	0,81
	A MML-WZ	0,82
A WZ-MML	A MML-WZ	0,98
S MML X	A MML-Cp	0,91
	A MML-Tc	0,89
	g0yLM	0,82
	yLM	0,81
A MML-Cp	A MML-Tc	0,99
	g0yLM	0,93
	yLM	0,91
	yHM	0,80
A MML-Tc	g0yLM	0,93
	yLM	0,90
S WZL X	A WZL-Cp	0,96
g0° X	g0° FLM	0,91
	MML-FLM°	0,87
g0° FLM	MML-FLM°	0,94
yHM	g0yHM	0,93
	g0yLM	0,82
yNM	g0yNM	0,92
yLM	g0yLM	0,98

Wie in Tabelle 5 zu erkennen ist, korrelieren nur die kephalometrischen Variablen aus der Fernröntgenanalyse untereinander und die kinematischen Variablen untereinander. Es gibt keine hohen Korrelationen zwischen kephalometrischen Daten der Fernröntgenanalyse und kinematischen Variablen. Jedoch sind die Linie der Widerstandszentren WZL und das Widerstandszentrum WZ ebenfalls kephalometrische Variablen, die auf den FRS-Bildern abgelesen werden können, jedoch nicht in der Fernröntgenanalyse erfasst werden. Wie in Tabelle 5 ersichtlich korrelieren genau diese mit kinematischen Variablen. Eine erweiterte Fernröntgenanalyse unter Einbeziehung der Linie der Widerstandszentren WZL und des Widerstandszentrum WZ ist somit erforderlich, um Zusammenhänge zwischen kephalometrischen und kinematischen Variablen darstellen zu können. Eine solche erweiterte Fernröntgenanalyse wird in Kapitel 5 diskutiert.

4.2.13. Varianzanalyse nach Geschlecht und Wilcoxon-Test

Für die Varianzanalyse (Weiß, 2010) wird das Geschlecht als Einflussgröße festgelegt. Um den Einfluss des Geschlechts auf die kephalometrischen und kinematischen Variablen auszudrücken, wird mit Hilfe des F-Tests (Weiß, 2010) die Signifikanz berechnet. Dabei wird unterschieden zwischen hoch signifikant, signifikant, schwach signifikant und extrem schwach signifikant.

Mit der Durchführung der Varianzanalyse nach Geschlecht ergaben sich keine hoch signifikanten und keine signifikanten Abhängigkeiten. Schwache Signifikanzen ergaben sich zum Kieferwinkel ($GnGoAr^\circ$) und zur funktionellen dentobasalen Zuordnung der Oberkiefer-Inzisivi (β°). Extrem schwache Signifikanzen können bei der unteren Gesichtshöhe ($Sp'-Gn$ mm), beim Schnittpunkt von der Linie der Widerstandszentren auf der x-Achse in cm (S WZL X), beim Abstand des Unterkiefer-Inzisalpunktes zur y-Achse in cm (A UK-I Y), bei der funktionalen Länge der Mandibula in cm (FLM) und bei der Länge der Nasion-Sella-Linie in cm (L NSL) festgestellt werden.

Der Wilcoxon-Test (Weiß, 2010) zeigt durch den p-Wert (Weiß, 2010), ob die aufgetretenen Signifikanzen tatsächlich aussagekräftige Ergebnisse sind, indem der p-Wert mindestens den gleichen Wert wie das Ergebnis des F-Tests hat oder sogar noch extremer ist. Nach dem Wilcoxon-Test bestätigen sich die Signifikanzen vom $GnGoAr^\circ$ und β° . Die untere Gesichtshöhe ($Sp'-Gn$ mm), der Schnittpunkt von der Linie der Widerstandszentren auf der x-Achse in cm (S WZL X), der Abstand des Unterkiefer-Inzisalpunktes zur y-Achse in cm (A UK-I Y), die funktionale Länge der Mandibula in cm (FLM) und die Länge der Nasion-Sella-Linie in cm (L NSL) treten nicht mehr auf, so dass eine tatsächliche Signifikanz ausgeschlossen werden kann. Dies zeichnete sich aber schon durch die extrem schwache Signifikanz bei der Varianzanalyse ab.

Jeweils für die weiblichen (f) und männlichen (m) Patientengruppen sind für den $GnGoAr$ -Winkel in Abbildung 79 und für den β -Winkel in Abbildung 80 die Boxplots (Weiß, 2010) zur Übersicht der Winkelstreuung dargestellt. Auf der x-Achse sind die weiblichen (f) und männlichen (m) Patientengruppen dargestellt, die y-Achse stellt die Winkelgrößen dar. Jeder Boxplot zeigt die mittleren 50% der Werte aus dem Datensatz, den Median, den minimalen und maximalen Wert der Patientengruppe. Das schwarz umrahmte, weiße Kästchen zeigt die mittleren 50% der Patientengruppe. Die dicke, schwarze, horizontale Linie stellt den Median dar. Die gestrichelten, vertikalen Linien stellen die Spannweite zwischen dem minimalen und dem maximalen Wert dar. Die schmale, schwarze, horizontale Linie zeigt oberhalb des

Boxplots den maximalen Wert und unterhalb des Boxplots den minimalen Wert der jeweiligen Patientengruppe. Die kleinen Kreise stellen „Ausreißer“ dar.

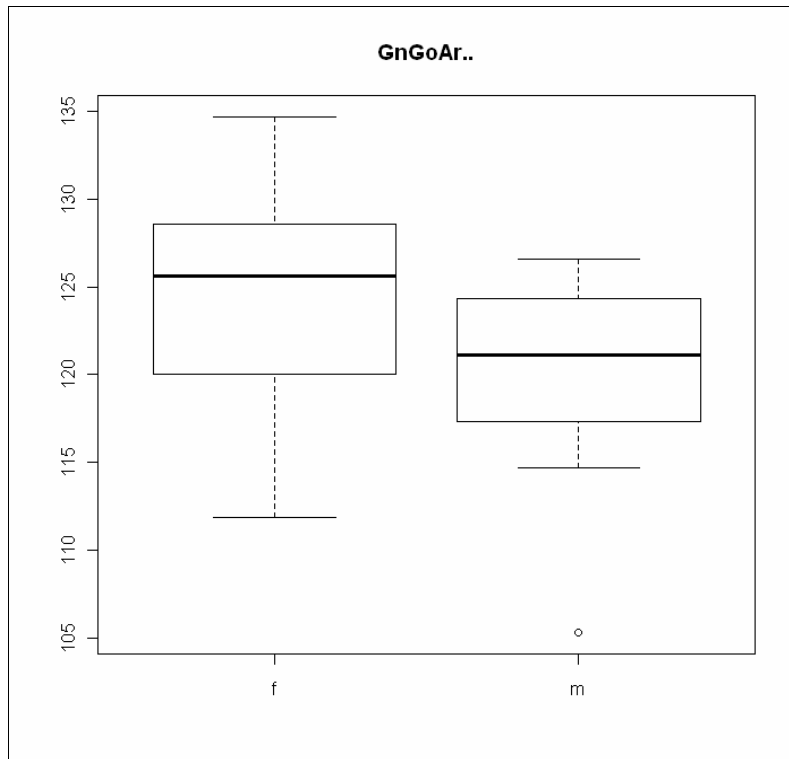


Abb. 79. GnGoAr^o-Boxplot jeweils der weiblichen (f) und männlichen (m) Patientengruppe.

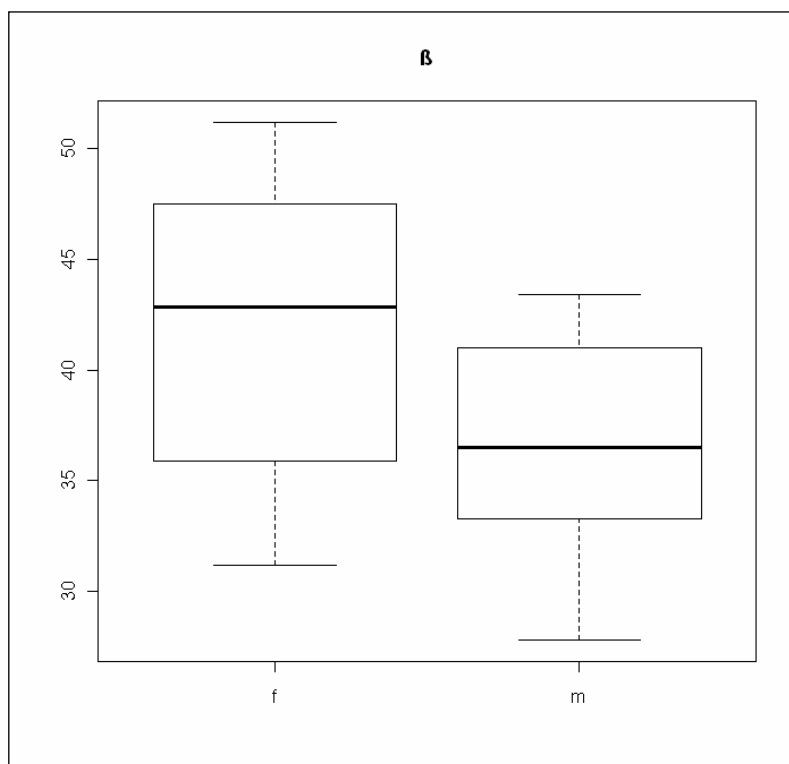


Abb. 80. β^o -Boxplot jeweils der weiblichen (f) und männlichen (m) Patientengruppe.

Überraschender Weise sind beim Wilcoxon-Test noch zwei Parameter hinzugekommen, die keine Signifikanzen bei der Varianzanalyse zeigten. Diese Parameter sind der Winkel der Minimal-/Maximal-Linie zur x-Achse ($\text{MML}^\circ \text{X}$) und der Winkel der Linie der Widerstandszentren zur x-Achse ($\text{WZL}^\circ \text{X}$). Jeweils für die weiblichen (f) und männlichen (m) Patientengruppen sind auch für $\text{MML}^\circ \text{X}$ in Abbildung 81 und für den $\text{WZL}^\circ \text{X}$ in Abbildung 82 die Boxplots zur Übersicht der Winkelstreuung dargestellt.

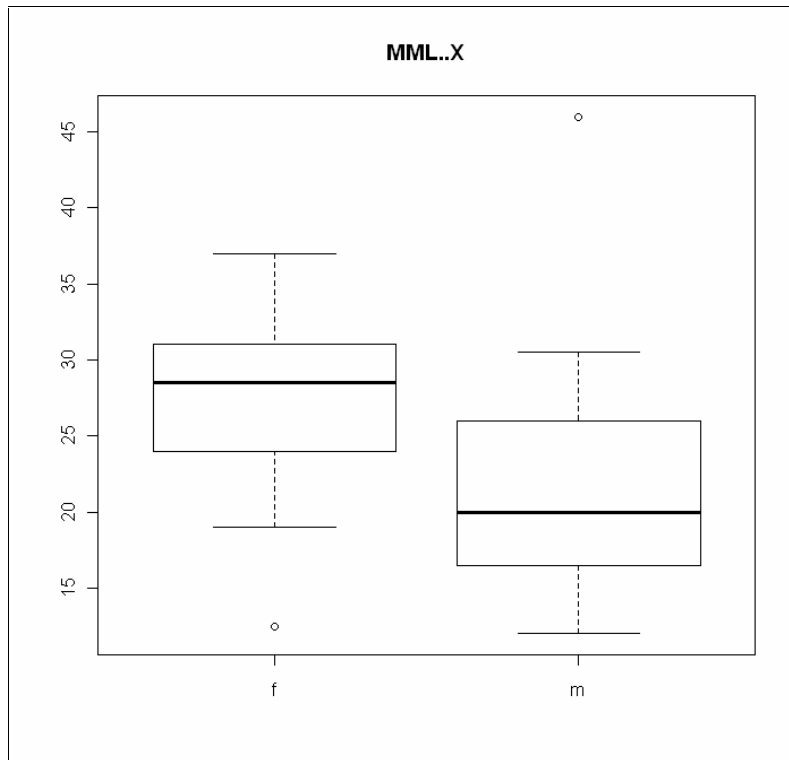


Abb. 81. $\text{MML}^\circ \text{X}$ -Boxplot jeweils der weiblichen (f) und männlichen (m) Patientengruppe.

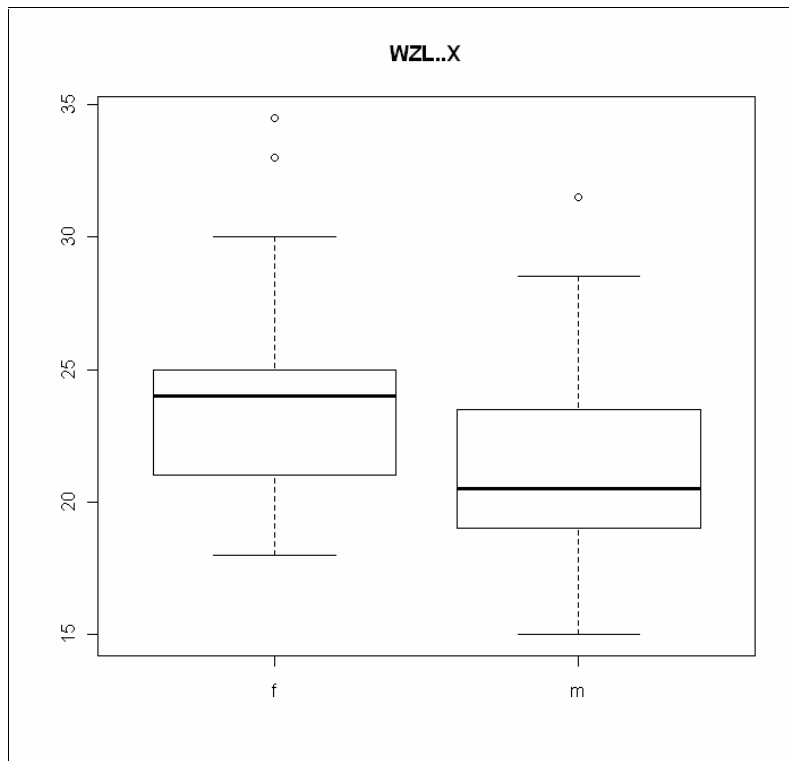


Abb. 82. WZL° X-Boxplot jeweils der weiblichen (f) und männlichen (m) Patientengruppe.

Wird beim Wilcoxon-Test die funktionale Länge der Mandibula (FLM) als eine normierende Länge festgelegt, kann ein eventuell bestehender Größeneffekt erkannt werden. Beim Durchlauf des Wilcoxon-Tests mit FLM als normierende Länge trat kein Größeneffekt beim GnGoAr°, β° , MML° X und WZL° X auf.

4.2.14. Faktorenanalyse

Die Faktorenanalyse (Überla, 1971) gehört zu den Daten reduzierenden Verfahren, da mit ihr von vielen verschiedenen Variablen auf wenige zugrunde liegende latente Variablen (=Faktoren) geschlossen werden kann. Mögliche Substrukturen in den Koordinaten der Minima (= kinematische Variablen) galt es zu finden. Mit den vorher ermittelten hoch korrelierten kinematischen Variablen (Tab. 6) wurde eine Faktorenanalyse mit sechs Faktoren durchgeführt, bei welcher der letzte Faktor zehnmal weniger Varianz als der vorletzte erklärte. Daher wurde die Faktorenanalyse mit fünf Faktoren durchgeführt (Tab. 7).

Tab. 6. Korrelationen für die kinematischen Variablen xHM, yHM, xNM, yNM, xLM und yLM mit anderen mit Absolutwert größer als 0,6.

Variable	mit Variable(n)	Wert
xHM	xHM xLM yHM g0yHM A MML-Cp A MML-Tc g0yLM	1,00 0,72 0,72 0,66 0,66 0,62 0,60
yHM	yHM g0yHM g0yLM A MML-Cp A MML-Tc yLM S MML X xHM	1,00 0,93 0,82 0,80 0,80 0,77 0,76 0,72
xNM	xNM g0° X	1,00 0,63
yNM	yNM g0yNM yLM	1,00 0,92 0,61
xLM	xLM xHM A WZ MML	1,00 0,72 0,60
yLM	yLM g0yLM A MML-Cp A MML-Tc S MML X yHM g0yHM g0yNM yNM	1,00 0,98 0,91 0,90 0,81 0,77 0,73 0,63 0,61

Tab. 7. Faktorenanalyse im Datensatz mit den Minima hoch korrelierten Größen.

Variable	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5
xHM	0,369	0,124	0,138	0,849	0,247
yHM	0,570	0,302		0,356	0,672
xNM	-0,179	0,307	0,858	0,255	-0,215
yNM	0,349	0,904			0,140
xLM	0,421	-0,113	0,442	0,587	0,119
yLM	0,810	0,350		0,167	0,213
S MML X	0,833	0,252	-0,277	0,219	0,193
A MML-Cp	0,910	0,262		0,268	0,160
A MML-Tc	0,924	0,219		0,240	0,173
A WZ MML	0,277		0,712	0,201	0,170
g0° X	-0,475	-0,267	0,801	-0,239	
g0yHM	0,607	0,158		0,298	0,636
g0yNM	0,346	0,883	0,176	0,117	
g0yLM	0,818	0,315		0,218	0,272

In Tabelle 7 sind in der ersten Spalte die 13 Variablen aufgelistet und den in weiteren Spalten die Faktoren 1-5. Zeilenweise Maximalwerte der Ladungen über 0,6 sind fettgedruckt hervorgehoben. In der Spalte mit Faktor 1 korrelieren die Variablen yLM, S MML X, A MML-Cp, A MML-Tc und g0yLM miteinander. In der Spalte mit Faktor 2 korrelieren die Variablen yNM und g0yNM miteinander, in der Spalte mit Faktor 3 die Variablen xNM, A WZ MML und g0° X, in der Spalte mit Faktor 4 xHM und xLM, in der Spalte mit Faktor 5 yHM und g0yHM. Der fehlende Faktor kam durch die Vereinigung von xHM und xLM in Faktor 4 zu Stande. Zusätzlich ist ein Zusammenhang von yLM und yHM im ersten Faktor erkennbar (blaue Werte). Faktor 6 ist dann eine nähere Spezifikation von Faktor 1 und demnach sind Haupt- und Längenminimum miteinander verwandt.

In Tabelle 8 sind die „SS loadings“, also die „Stärke“ des Einflusses der einzelnen Faktoren, dargestellt (SS = Sum of Squares). Durch die fünf Faktoren werden insgesamt 91% der Varianz erklärt, wobei der erste Faktor 38% der Varianz und der fünfte immerhin noch 9% erklärt. In Kapitel 5.2.5. wird diskutiert, warum der erste Faktor bestehend aus yLM, S MML X, A MML-Cp, A MML-Tc und g0yLM ein gutes Drittel stellt.

Tab. 8. „SS loadings“ der Faktorenanalyse.

	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5
SS loadings	5,286	2,311	2,216	1,711	1,246
Proportion Var	0,378	0,165	0,158	0,122	0,089
Cumulativ Var	0,378	0,543	0,701	0,823	0,912

In der Abbildung 83 sind diese Korrelationen im Datensatz mit den Minima hoch korrelierten Größen (größer als 0,6 bzw. kleiner als -0,6) graphisch dargestellt. Auf der x-Achse sind die Variablen von links nach rechts und auf der y-Achse von unten nach oben wie in der Reihenfolge der oben stehenden Tabelle 7 dargestellt. Weiße Kästchen bedeuten eine geringe Korrelation (=0), schwarze Kästchen eine hohe Korrelation (= +/- 1). Zwischen weiß und schwarz gibt es verschiedene Graustufen. Dunkle Subgruppen entsprechen den Faktoren. Je dunkler das Grau ist, desto höher ist die Korrelation der Variablen. Alle Variablen sind mit sich selbst korreliert, was an den diagonal von links unten nach rechts oben verlaufenden schwarzen Kästchen erkennbar ist.

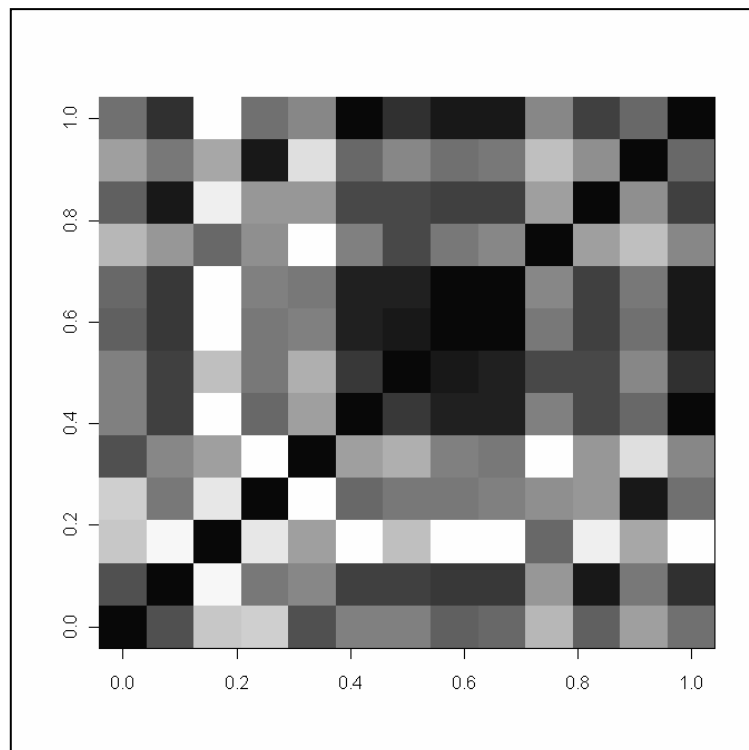


Abb. 83. Korrelationen im Datensatz mit den Minima hoch korrelierten Größen (größer als 0,6 bzw. kleiner als -0,6); Kästchen-Variablen-Zuordnung auf x- und y-Achse siehe Tabelle 7, weiße Kästchen = geringe Korrelation, schwarze Kästchen = hohe Korrelation, Graustufen = je dunkler das Grau, desto höher die Korrelation.

5. Diskussion

Ziel dieser Dissertation war, anatomische Strukturen (FRS-Bild bzw. Unterkiefer-Umriss-Folien) mit zeitnahen Messungen der Unterkieferbewegungen und den entsprechenden Konturlinien-Plots zu überlagern und vergleichende Untersuchungen durchzuführen. Diese Ausführungen schließen eine Lücke im Schrifttum. In der vorliegenden Arbeit wurden an 51 FRS-Bildern 102 Auswertungen mit der Software *fr-win-professional* von *computer konkret dental software* durchgeführt, von allen Winkeln und Strecken der Mittelwert, der Median, die Standardabweichung, der minimale und der maximale Wert ermittelt, von den Parametern ML-NL, ML-NSL und NL-MSL aller 102 FRS-Auswertungen jeweils der Normwert, der Mittelwert, der Medianwert, der minimale Winkel, der maximale Winkel, die Differenz zwischen dem minimalen und maximalen Winkel und die Standardabweichung, sowie die eindeutige, reproduzierbare Auffindbarkeit der dazugehörenden Punkte bestimmt, die Umrisszeichnungen der FRS-Bilder auf die zeitlich dazugehörigen Konturlinien-Plots übertragen und ein neues Koordinatensystem erstellt. Da die Sagittalebene die Hauptfunktionsebene des Kiefergelenks ist, kann sie zum Studium der Überlagerung von anatomischen Strukturen (FRS-Bild bzw. Unterkiefer-Umriss-Folien) mit zeitnahen Messungen der Unterkieferbewegungen und den entsprechenden Konturlinien-Plots herangezogen werden. Die Winkel und Strecken der FRS-Bilder werden in der Sagittalebene ausgewertet und auch die Bewegungen des Unterkiefers lassen sich zweidimensional in der Sagittalebene mit Hilfe eines Konturlinien-Plots darstellen, da der Patient gebeten wurde, während der Messung seinen Unterkiefer so zu bewegen, dass der Inzisalpunkt ein Posselt-Diagramm umfährt. Im ersten Teil der Diskussion werden die Qualität und die auswertende Person der FRS-Bilder, sowie die Winkel-Differenzen bei unterschiedlicher Markierung der Punkte im FRS-Bild thematisiert. Im zweiten Teil werden die Schwierigkeiten bei der Überlagerung von anatomischen Strukturen (FRS-Bild bzw. Unterkiefer-Umriss-Folien) mit zeitnahen Messungen der Unterkieferbewegungen und den entsprechenden Konturlinien-Plots erläutert. Die Bedeutung von einer zeitnahen Auswertung von FRS-Bild und Konturlinien-Plot soll durchleuchtet werden. Die Lage der Punkte P_{\min} , P_{NM} , L_{\min} und g_0 innerhalb und außerhalb knöcherner Strukturen des Unterkiefers, sowie die Lage von MML und WZL, die Korrelationen im Datensatz und die Faktorenanalyse, sowie die Varianzanalyse nach Geschlecht werden diskutiert. Mit diesen vergleichenden Untersuchungen von FRS-Bildern und Messungen von Mandibulabewegungen an jugendlichen Klasse II-Patienten wird die Methode der Überlagerung von anatomischen Strukturen mit zeitnahen Messungen der

Unterkieferbewegungen und den entsprechenden Konturlinien-Plots analysiert. Abschließend werden Ansätze aufgezeigt, wie die Überlagerung anatomischer Strukturen (FRS-Bild bzw. Unterkiefer-Umriss-Folien) mit zeitnahen Messungen der Unterkieferbewegungen und den entsprechenden Konturlinien-Plots weiterführend untersucht werden könnten.

5.1. FRS-Bilder

Für die Auswertung der FRS-Bilder ist die Qualität von entscheidender Bedeutung, aber auch die auswertende Person ist ausschlaggebend für die genaue Markierung der Punkte mit der Software *fr-win-professional* von *computer konkret dental software*. Im Folgenden werden die Qualität der FRS-Bilder und der Einfluss der auswertenden Person diskutiert. Weiterhin wird die Frage erläutert, bis zu welcher Winkel-Differenz die Streuung als „normal“ betrachtet werden kann.

5.1.1. Qualität der FRS-Bilder

Die FRS-Bilder weisen eine unterschiedliche Qualität auf. Der Kontrast in der Darstellung der Hart- und Weichgewebe ist ein wichtiger Aspekt in der Qualität. Nur wenn Hart- und Weichgewebe deutlich sichtbar im FRS-Bild zu erkennen sind, lässt sich eine aussagekräftige Auswertung erstellen. Durch den Gebrauch spezieller Differentialfolien bei konventionellen Aufnahmen oder Filter bei digitaler Bildgebung werden die Weichteile neben den knöchernen Strukturen sichtbar gemacht. Das Prinzip der Fernröntgenseitenaufnahme ist die Reduzierung der parallaktischen Strahlenverschiebung im Objekt auf ein Minimum durch großen Fokus-Objekt- und kleinen Objekt-Bildträger-Abstand. Mit einer Fokus-Film-Abstand-Distanz von 1,5 m werden Parallaxefehler reduziert. Unter dem Gesichtspunkt der Reduzierung der parallaktischen Strahlenverschiebung ist zu berücksichtigen, dass die zur Auswertung zur Verfügung stehenden FRS-Bilder aus zwei unterschiedlichen Standorten stammen, bei welchen jeweils der Abstand des Patienten zur Röntgenquelle verschieden ist und damit verschiedene Vergrößerungsfaktoren zur Folge hat (Kap. 2.1.6.).

Der Patientenkopf wird zusätzlich in einem Kopfhalter (Cephalostat) fixiert, um eine möglichst exakte und reproduzierbare Einstellung des Schädels in die verschiedenen

Bezugsebenen zu gewährleisten. Die Fixierung des Patientenkopfes begünstigt zusätzlich die Schärfe des FRS-Bildes.

Alle oben genannten Voraussetzungen erleichtern die Punkteauffindbarkeit für die Auswertung der FRS-Bilder. Die folgenden Abbildungen 84 und 85 zeigen ein FRS-Bild mit einem guten Kontrast der Hart- und Weichgewebe sowie einer optimalen Schärfe zur Markierung der Punkte und ein FRS-Bild mit einem schlechten Kontrast der Hart- und Weichgewebe sowie einer großen Unschärfe, welche die Auffindbarkeit der Punkte stark erschwert und die Studie in ihren Auswertungsergebnissen negativ beeinflussen kann.

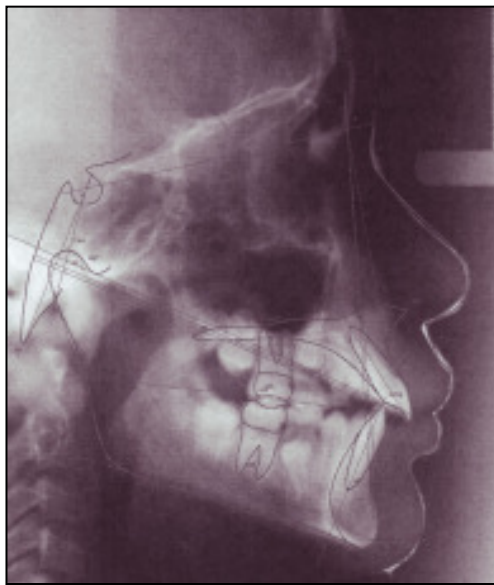


Abb. 84. FRS-Bild von guter Qualität.



Abb. 85. FRS-Bild von schlechter Qualität.

Eine eindeutige und reproduzierbare Auffindbarkeit der Punkte für ML-NSL-, NL-NSL- und ML-NL-Winkel wurde in Kapitel 4.1.3. geprüft. Der ML-NSL-Winkel ist Ausdruck der Mandibulaneigung zur Schädelbasis und des Wachstumsmusters. Der NL-NSL-Winkel ist Ausdruck der Neigung der Maxilla zur Schädelbasis. Der ML-NL-Winkel stellt den Interbasiswinkel dar und ist Ausdruck der Neigung der Mandibula (M-Linie) zur Basis der Maxilla (N-Linie) und damit der Divergenz der Kieferbasen. Mit diesem Winkel kann der Wachstumstyp bestimmt werden (Kap. 2.1.6.). Die drei Winkel werden aus kieferorthopädisch wichtigen Referenzlinien mit ihren Referenzpunkten ermittelt (Kap. 2.1.6.). Eine möglichst genaue Markierung der für die Referenzlinien notwendigen Referenzpunkte ist für eine korrekte kieferorthopädische Behandlungsplanung von Bedeutung und kann durch die unterschiedliche Röntgenbildqualität beeinflusst werden.

Die Hauptreferenzlinie NSL ist in allen FRS-Bildern sicher und eindeutig reproduzierbar, da die knöchernen Strukturen des Nasionpunktes N und des Mittelpunktes der Sella turcica S stets deutlich zu erkennen sind.

An zweiter Stelle ist die Mandibula-Linie ML anzusehen. Der Gnathionpunkt Gn ist sicher auffindbar, da die für den Referenzpunkt notwendige knöcherne Struktur im FRS-Bild stets deutlich zu erkennen ist. Der Unterrand der Mandibula UM weist eine mittelmäßige Auffindbarkeit auf. Im FRS-Bild ist der rechte und linke Unterrand der Mandibula stets überlagert. Wenn der Patient während der Aufnahme des FRS-Bildes nicht exakt gerade im Röntgengerät steht, werden der rechte und linke Unterrand der Mandibula im FRS-Bild in unterschiedlicher Höhe dargestellt. In diesem Fall stellt sich die Frage, wo der Unterrand der Mandibula auf dem FRS-Bild markiert werden soll, da nicht eindeutig erkennbar ist, welcher Unterrand von der rechten oder linken Seite ist. Eine Möglichkeit der Markierung wäre immer den unteren oder immer den oberen der beiden Mandibula-Ränder im FRS-Bild zu wählen. Eine andere Möglichkeit wäre, eine Markierung in der Mitte von unterem und oberem Mandibula-Rand vorzunehmen. Das kann allerdings erneut zu Ungenauigkeiten führen, da der Mittelpunkt von unterem zu oberem Mandibula-Rand von der auszuwertenden Person geschätzt werden muss und Differenzen zu einer anderen auswertenden Person mit sich bringt. Es gibt verschiedene Lösungsansätze, um den Punkt zu markieren. Klar ist jedoch, dass eine einheitliche Regelung gefunden werden muss, damit alle auswertenden Personen auch zum gleichen Ergebnis kommen. Im Grunde muss aber die exakte Einstellung des Patienten in das Röntgengerät optimiert werden, um die Schiefelage des Patientenkopfes und damit den doppelten Unterrand der Mandibula im FRS-Bild zu vermeiden.

Die Nasal-Linie NL ist von den drei Referenzlinie die am wenigsten eindeutig zu reproduzierenden Linie, da der Pterygomaxillarepunkt Pm im FRS-Bild von den Zähnen überlagert werden kann, wodurch die Auffindbarkeit des Punktes Pm nur mit mittelmäßig bis sicher eingestuft werden kann. Der Spina nasalis anterior Punkt Spa ist mit Abstand der unsicherste Punkt, da im FRS-Bild die Strukturen der anterioren, knöchernen Kontur des Gesichtsschädels häufig kaum oder gar nicht zu erkennen sind. Selbst bei guter FRS-Bild-Qualität lässt sich der Spina nasalis anterior Punkt Spa nur schwer erahnen. Hier stellt sich die Frage, wie eine eindeutige und reproduzierbare Markierung des Spina nasalis anterior Punktes Spa erreicht werden kann. An erster Stelle steht hier eine Verbesserung der FRS-Bild-Qualität mit den schon oben genannten Mitteln. Für den Fall eines nicht erkennbaren Spina nasalis anterior Punktes Spa muss ebenso wie für die Markierung des Unterrandpunktes der

Mandibula UM eine einheitliche Regelung gefunden werden, da das Schätzen des Punktes während der Markierung zu Differenzen zwischen verschiedenen auswertenden Personen führt. In Kapitel 5.1.3. werden Differenzwerte dargestellt, wenn der Unterrand der Mandibula UM, der Spina nasalis anterior Punkt Spa, der Pterygomaxillarepunkt Pm und der Nasionpunkt N verändert werden. Die Differenzwerte zeigen die Auswirkung bei unterschiedlichen Markierungen, wenn es für die Markierung keine einheitliche Regelung gibt.

5.1.2. Auswertende Person

Für die Auswertung der FRS-Bilder ist die auswertende Person ausschlaggebend für die genaue Markierung der Punkte mit der Software *fr-win-professional* von *computer konkret dental software*. Um eine Aussage über die genaue Markierung der Punkte bei unterschiedlichen Auszuwertenden treffen zu können, müssen verschiedene Aspekte betrachtet werden. Neben der schon oben in Kapitel 5.1.1. genannten Qualität der FRS-Bilder hängt die genaue Markierung der Punkte unter anderem auch von der manuellen Geschicklichkeit der auswertenden Person ab. Dazu gehört der Umgang mit dem Computer und ganz speziell mit der Mouse, da mit dieser die Punkte in der vom Computer vorgegebenen Reihenfolge auf dem vorher eingescannten FRS-Bild markiert werden müssen. Zur manuellen Geschicklichkeit im Umgang mit der Mouse gehören die Führung der Mouse auf dem Mousepad und das eigentliche Markieren der Punkte auf dem FRS-Bild. Dabei sollte natürlich jede auswertende Person versuchen, den Punkt akribisch genau zu markieren. Auch der Zeitrahmen, in dem die Markierung erfolgt, spielen in die Genauigkeit hinein. So sollte die auswertende Person nicht unter Zeitdruck stehen und sich mit der Markierung der Punkte nicht beeilen. Dabei würden dem Auswertenden Fehler unterlaufen, da durch ungenaues Hinschauen die Markierung neben dem eigentlich richtigen Punkt liegen könnte, was zu einem verfälschten Ergebnis führen könnte.

5.1.3. Winkel-Differenz

In Anklang an die Kapitel 5.1.1. und 5.1.2. werden hier die Auswirkungen bei uneinheitlicher Markierung des Pterygomaxillarepunktes Pm, des Spina nasalis anterior Punktes Spa, des Nasionpunktes N und des Unterrandes der Mandibula UM, aber auch die Winkel- und

Strecken-Auswertung aller 102 FRS-Auswertungen mit Hilfe der Normwerte aus der Literatur verglichen und diskutiert. Es soll die Frage erörtert werden, bis zu welcher Winkel-Differenz die Streuung als „normal“ betrachtet werden kann.

Um die Auswirkung bei unterschiedlicher Markierung des Unterrandes der Mandibula bei doppelter Darstellung im FRS-Bild festzustellen, wird bei drei FRS-Bildern jeweils eine Auswertung mit Markierung des oberen Unterrandes der Mandibula und eine Auswertung mit Markierung des unteren Unterrandes der Mandibula erstellt. Die daraus entstehende Winkel-Differenz wird dann für die Winkel ML-NSL, ML-NL und GnGoAr gemessen. Dabei entstehen Differenz-Werte von $2,6^\circ$ bis $5,2^\circ$. Im ersten FRS-Bild ergeben sich für die drei gemessenen Winkel immer Differenzen von $4,2^\circ$. Im zweiten FRS-Bild ergibt sich für die Winkel ML-NSL und ML-NL jeweils eine Differenz von $2,7^\circ$ und für den GnGoAr-Winkel eine Differenz von $2,6^\circ$. Im dritten FRS-Bild ergibt sich für den ML-NSL-Winkel eine Differenz von $5,2^\circ$ und für die Winkel ML-NL und GnGoAr eine Differenz von $4,8^\circ$. Dabei ändert sich in allen FRS-Bildern für den ML-NL-Winkel der Wachstumstyp vom normalen Interbasiswinkel zum horizontalen Wachstumstyp. Bei Betrachtung der ML-NSL- und NL-NSL-Winkel ändert sich der Wachstumstyp nicht (Kap. 4.1.3.).

Bei Veränderung des Pterygomaxillarepunktes Pm ergibt sich eine Differenz für den Winkel NL-NSL von $1,1^\circ$. Da dieser Punkt mittelmäßig bis sicher aufzufinden ist, wird die Auswirkung der unterschiedlichen Markierung nur an einem FRS-Bild geprüft. Mit dieser geringen Winkel-Differenz ändert sich der Wachstumstyp nicht (Kap. 4.1.3.).

Die unterschiedlichen Markierungen des Spina nasalis anterior Punktes Spa werden an zwei FRS-Bildern mit schlechter Qualität untersucht und die Differenz des NL-NSL-Winkels gemessen. Erstaunlich ist bei dem sehr unsicher aufzufindenden Punkt, dass die Winkel-Differenz bei dem ersten FRS-Bild $2,9^\circ$ und bei dem zweiten FRS-Bild $1,6^\circ$ beträgt. Dabei ändert sich in den beiden FRS-Bildern nicht der Wachstumstyp, was wegen der schlechten Qualität der FRS-Bilder erstaunlich ist (Kap. 4.1.3.).

Zur genaueren Bestimmung der Aussagefähigkeit von Veränderungen von Punkten und der daraus resultierenden Winkel-Differenz wird der als sicher wieder aufzufindend eingestufte Nasionpunkt N bei zwei FRS-Bildern jeweils unterschiedlich markiert. Die daraus entstehenden Winkel-Differenzen der Winkel ML-NSL, NL-NSL, SNA, SNB und ANB werden dann ermittelt (Kap. 4.1.3.). Beim ersten FRS-Bild ergibt sich für den ML-NSL-Winkel eine Differenz von $1,9^\circ$ und für den NL-NSL-Winkel eine Differenz von $1,8^\circ$. Der Differenz-Wert für den SNA-Winkel beträgt $0,6^\circ$, für den SNB-Winkel $0,9^\circ$ und für den ANB-Winkel $0,3^\circ$. Der Wachstumstyp ändert sich bei keinem der oben genannten Winkel.

Beim zweiten FRS-Bild ergibt sich für den ML-NSL-Winkel und für den NL-NSL-Winkel jeweils eine Differenz von $3,0^\circ$. Der Differenz-Wert für den SNA- und SNB-Winkel beträgt jeweils $2,5^\circ$ und für den ANB-Winkel $0,1^\circ$. Beim ML-NSL-Winkel ist durch die Winkeländerung der Wachstumstyp von einer normalen Mandibula zur Mandibula mit vertikaler Neigung verändert. Beim NL-NSL-Winkel ist durch die Winkeländerung der Wachstumstyp von einer normalen Maxilla zur Maxilla mit horizontaler Neigung verändert. Die sagittale Lage der Maxilla in Relation zur Schädelbasis (SNA-Winkel) ist von einer orthognathen zur retrognathen Maxilla verändert. Bei der Betrachtung des SNB-Winkels und des ANB-Winkels hat die Winkeländerung des Nasionpunktes N keine Wachstumstypänderung verursacht. All diese Veränderungen führen zu unterschiedlichen Ausgangspositionen bzw. Diagnosen in der kieferorthopädischen Behandlung und können sogar den Behandlungserfolg beeinflussen. Die Behandlung wird dann mit schwerwiegenden Folgen vom Wachstumstyp abhängig mit verschiedensten kieferorthopädischen Apparaturen zur Einstellung der Normalverzahnung therapiert.

Im Vergleich der Normwerte aus der Literatur mit den Mittelwerten aller Winkel und Strecken aus den 102 FRS-Auswertungen lässt sich allerdings feststellen, dass die Mittelwerte der Auswertung bis auf wenige Ausnahmen im Rahmen der Normwerte der Literatur liegen. Auch die Mediane und Standardabweichungen aus den 102 FRS-Auswertungen entsprechen annähernd den Normwerten aus der Literatur, was wiederum für eine korrekte Auswertung der FRS-Bilder mit der Software *fr-win-professional* von *computer konkret dental software* spricht, aber auch zeigt, dass selbst bei unterschiedlicher Markierung der Punkte der Normbereich der Literatur die Winkel-Differenzen toleriert.

Bei Betrachtung der ML-NSL-, NL-NSL- und ML-NL-Winkel deckt sich der Normbereich der Literatur mit dem errechneten Normbereich der 102 FRS-Auswertungen. Für den ML-NSL-Winkel liegt der Normbereich der Literatur zwischen 24° und 38° , der errechnete Normbereich der 102 FRS-Auswertungen liegt zwischen $26,9^\circ$ und $36,3^\circ$. Für den NL-NSL-Winkel beträgt der Normbereich der Literatur $5,5^\circ$ bis $11,5^\circ$, der errechnete Normbereich der 102 FRS-Auswertungen $3,4^\circ$ bis $10,4^\circ$. Für den ML-NL-Winkel befindet sich der Normbereich der Literatur zwischen $20,5^\circ$ und $26,5^\circ$, der errechnete Normbereich der 102 FRS-Auswertungen zwischen $20,3^\circ$ und $29,1^\circ$.

Für die Winkel ML-NSL und NL-NSL liegt der Mittelwert im Normbereich der Literatur. Für den ML-NL-Winkel liegt der Mittelwert von $26,6^\circ$ leicht außerhalb des Normbereichs aus der Literatur.

Werden die ermittelten Werte aus den Auswertungen in Bezug zu dem sich dadurch ändernden Wachstumstyp gebracht, haben die Lageveränderungen einzelner Punkte einen großen Einfluss auf die daraus resultierende kieferorthopädische Behandlung. Im Vergleich der Werte aus den Auswertungen mit den Werten der Literatur können jedoch keine aussagekräftigen Differenzen festgestellt werden. Somit ist nicht eindeutig zu klären, bis zu welcher Winkel-Differenz die Streuung als „normal“ erachtet werden kann. Die Kieferorthopädie hat das Ziel, den Patienten in die Normalverzahnung einzustellen. Dafür stehen viele unterschiedliche Apparaturen zur Verfügung. Es bleibt nun die Frage offen, ob sich durch die unterschiedliche Apparaturen-Auswahl wegen des sich ändernden Wachstumstyps bei unterschiedlicher Punkte-Markierung die Einstellung in die Normalverzahnung zeitlich beeinflussen lässt und immer zum Ziel der Normalverzahnung führt.

5.2. Überlagerung von anatomischen Strukturen (FRS-Bild bzw. Unterkiefer-Umriss-Folien) mit zeitnahen Messungen der Unterkieferbewegungen und den entsprechenden Konturlinien-Plots

5.2.1. Schwierigkeiten beim Übereinanderlegen von FRS-Bild und Konturlinien-Plot

Bei der Überlagerung von FRS-Bild und Konturlinien-Plot müssen verschiedene Parameter berücksichtigt werden. Der Maßstab jedes einzelnen Konturlinien-Plots wird dem Maßstab des dazugehörigen FRS-Bildes angepasst, um die knöchernen mit den beweglichen Parametern überlagern zu können. Der Vergrößerungsfaktor des FRS-Bildes muss für jede Überlagerung individuell an den dazugehörige Konturlinien-Plot angepasst werden, da die auszuwertenden FRS-Bilder wie in den Kapiteln 2.1.6. und 3.2.4. schon beschrieben aus zwei verschiedenen Quellen stammen und der Vergrößerungsfaktor für jedes FRS-Bild unterschiedlich ist. Die Anpassung der Maßstäbe von FRS-Bild und Konturlinien-Plot ist unproblematisch, sofern der Vergrößerungsfaktor bekannt ist. Schwierig hingegen gestaltet sich die tatsächliche Überlagerung von FRS-Bild und Konturlinien-Plot. Um den Inzisalpunkt P_{IP} , den Orbitalpunkt OP und den rechten Kondylenpunkt P_K vom FRS-Bild auf den Konturlinien-Plot zu projizieren, muss beachtet werden, dass beim Röntgen die Strukturen in

Abhängigkeit vom Zentralstrahlabstand und von der Gesichtsmitte stark vergrößert werden. Liegt ein gemessener Punkt nicht in der Gesichtsmitte, muss neben der Vergrößerung auch eine radiale Abweichung beachtet werden. Da der Inzisalpunkt P_{IP} in der Gesichtsmitte leicht nach unten verschoben liegt, muss bei der Projektion dieses Punktes nur die Vergrößerung und eine leichte radiale Abweichung beachtet werden. Der Orbitalpunkt OP ist der kaudalste Punkt am unteren, knöchernen Rand der Orbita und wird für die Messung mit dem Ultraschall-Messgerät CMS-JMA am Patienten markiert. Bei der Überlagerung von Konturlinien-Plot und Umriss-Folie muss die Vergrößerung und die radiale Abweichung berücksichtigt werden, da dieser Punkt nicht in der Gesichtsmitte liegt. Das Gleiche gilt für den rechten Kondylenpunkt P_K , der sich nicht in der Gesichtsmitte, sondern näher zum Röntgenfilm befindet.

Für die Überlagerung des FRS-Bildes bzw. der Umriss-Folie mit der Umrisszeichnung auf den dazugehörigen Konturlinien-Plot sind der Inzisalpunkt P_{IP} und der Orbitapunkt OP ausschlaggebend für die Projektion, da diese Punkte genau am Patienten markiert werden können. Der Inzisalpunkt P_{IP} des Konturlinien-Plots liegt nicht auf dem Inzisalpunkt IIS des FRS-Bildes, sondern liegt sieben Millimeter vor der stärksten Krümmung der Labialfläche des unteren Inzisivus und unterhalb des oberen Inzisivus des FRS-Bildes auf der Verlängerung des knöchernen Gesichts. Eine Verschiebung nach anterior um sieben Millimeter und nach kaudal vor den Bereich der stärksten Krümmung der Labialfläche des unteren Inzisivus resultiert aus dem Markierungspunkt für den Inzisalpunkt P_{IP} an der Bissgabel des Ultraschall-Messgerätes CMS-JMA und an der wie schon oben beschriebenen Vergrößerung und der leichten radialen Abweichung beim Röntgen. Auf Grund des Durchmessers des Ultraschall-Senders und der Befestigung der Bissgabel am Unterkiefer kann der Inzisalpunkt P_{IP} nicht an seiner tatsächlichen, physiologischen Stelle markiert werden. Der Orbitalpunkt OP hingegen kann sehr genau am Patienten markiert werden, da über der knöchernen Struktur nur eine dünne Hautschicht liegt. Dieser Punkt ist damit am Genauesten zu markieren.

Bei der Überlagerung der Folie mit der Umrisszeichnung auf den dazugehörigen Konturlinien-Plot wird die Folie auf dem Konturlinien-Plot so verschoben, dass der Inzisalpunkt P_{IP} des Konturlinien-Plots sieben Millimeter vor der stärksten Krümmung der Labialfläche des unteren Inzisivus des FRS-Bildes und unterhalb des oberen Inzisivus ebenfalls vom FRS-Bildes zu liegen kommt. Der Orbitalpunkt OP kommt auf der anterioren, knöchernen Kontur des Gesichtschädels unterhalb der Orbitahöhle zum liegen.

Auch die Morphometrie der knöchernen Strukturen des Kiefergelenkes macht das Überlagern von FRS-Bild und Konturlinien-Plot schwierig. Morphometrische Untersuchungsergebnisse zeigen, dass es eine große Variabilität in Größe und Form der knöchernen Strukturen des Kiefergelenkes gibt (Hinton, 1983 und Solberg et al., 1985). Schädelvermessungen zeigen eine natürliche Seitenasymmetrie gerade im Viszerokranium (Helfgen et al., 1994). Aus den Untersuchungen von Fanghänel und Mieke (1994) geht hervor, dass bei Veränderungen der Okklusion im Wesentlichen das Viszerokranium von Umbauprozessen betroffen ist. In Autopsiestudien spielt das Alter eine Rolle bei Veränderungen im Kiefergelenk (Pereira et al., 1994; Benner, 1993).

In meinen Untersuchungen konnte ich ebenfalls große Formabweichungen des Condylus feststellen. Bei der Untersuchung aller FRS-Bilder war die Form der Kondylen stark verschieden. Die Bestimmung des Kondylenmittelpunktes gestaltete sich recht schwierig, da sich die Konturen der Kondylen in unterschiedlichen Formen im FRS-Bild darstellen. Die Kondylusformen sind äußerst variabel (Solberg et al., 1985; Koppe et al., 1993). Anagnostopoulou und Venieratos (1986) sprechen neben den vier Grundformen - runde, flache, angewinkelte und ovale Form (Yale et al., 1963) – auch noch von mehr Grundformen. In den Untersuchungen von Zech und Fricke (2005) wurde der Condylus mit drei Radien beschrieben, einem kranialen, einem dorsalen und einem ventralen. Zu den unterschiedlichen Formen des Condylus kommt die Überlagerung des rechten und linken Condylus im FRS-Bild, wodurch eine genaue Zuordnung des Kondylenmittelpunktes weiterhin erschwert wird. Bei der Bestimmung des Kondylenmittelpunktes im FRS-Bild habe ich in meinen Untersuchungen den dorsalen und kranialen Kondylusradius zur Bestimmung herangezogen, da diese Konturen in den meisten FRS-Bildern am deutlichsten zu erkennen sind. Kaum erkennbar ist der ventrale Kondylenradius, welcher somit für eine Auswertung selten herangezogen werden kann. Auf einigen FRS-Bildern war aufgrund der schlechten Bildqualität der Condylus kaum bis gar nicht erkennbar. In diesen Fällen konnte das FRS-Bild mit der Software *fr-win-professional* von *computer konkret dental software* bearbeitet werden, um den Condylus besser erkennen zu können.

Für die Überlagerung von FRS-Bild und Konturlinien-Plot stellen ebenfalls die morphologischen Gegebenheiten des Condylus für die Markierung des Kondylenmittelpunktes am Patienten eine Schwierigkeit dar. Der Kondylenpunkt P_K muss bei der Markierung für die Messung mit dem Ultraschall-Messgerät CMS-JMA ertastet werden, was sehr schwierig ist, da der Condylus in der Ausgangsposition am Wendepunkt von der Fossa articularis zur Protuberantia liegt und der Arcus zygomaticus ein genaues Ertasten

verhindert. Zudem soll der Kondylenpunkt P_K den Mittelpunkt des Condylus darstellen, der am Patienten aus anatomischen Gründen nicht markiert werden kann. Durch die anatomische Gegebenheit und der damit verbundenen Schwierigkeit beim möglichst exakten Markieren des Kondylenpunktes P_K treten sehr starke Lagebestimmungsschwankungen auf, weswegen dieser Punkt nicht als Referenzpunkt beim Überlagern der Konturlinien-Plots mit den FRS-Bildern herangezogen werden kann. Wenn Orbitalpunkt OP und Inzisalpunkt P_{IP} ausgerichtet sind, kommt der rechte Kondylenpunkt P_K des Konturlinien-Plots im Idealfall innerhalb des Condylus vom FRS-Bild zum liegen (Abb. 86).

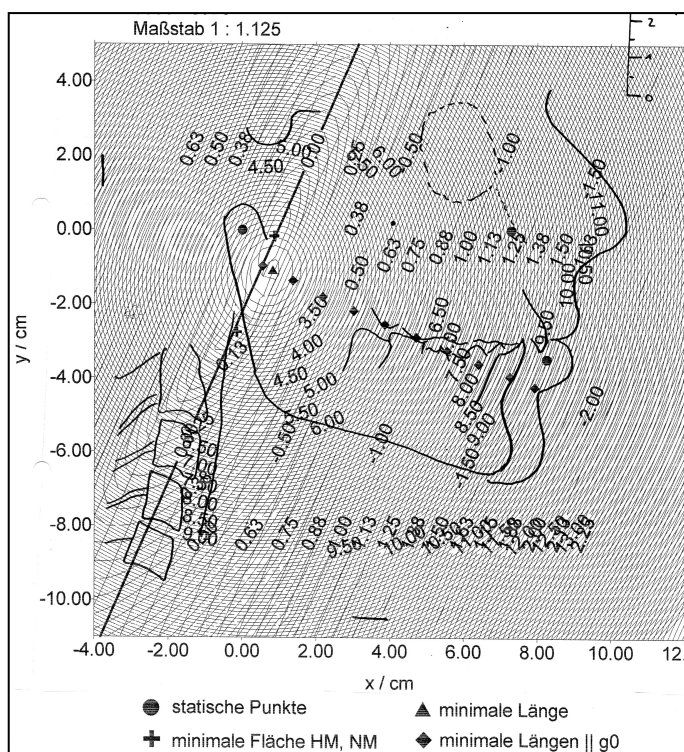


Abb. 86. optimale Überlagerung von Konturlinien-Plot und FRS-Umriss-Folie.

Da die radiale Abweichung von dem genau zu markierenden Inzisalpunkt P_{IP} und dem ebenfalls gut zu markierenden Orbitalpunkt OP exakt berechnet werden kann, ist die Überlagerung von FRS-Bild und Konturlinien-Plot reproduzierbar.

5.2.2. zeitnahe Auswertung von FRS-Bild und Konturlinien-Plot

Heutzutage bietet die Kieferorthopädie einen Behandlungszeitrahmen von der Geburt bis ins hohe Erwachsenenalter. Innerhalb der zahnmedizinischen und medizinischen Grenzen muss für die Wahl des optimalen Behandlungszeitpunktes und der optimalen Behandlungsstrategie eine umfassende Befunderhebung, Diagnostik und Therapieplanung erhoben werden (Kahl-Nieke, 2001). Für eine möglichst optimale Behandlungszeit von kurzer Behandlungsdauer ist es wichtig, die Gebissentwicklung, das Gesichtswachstum und die Adaptabilität der skelettalen Gewebe optimal auszunutzen (van der Linden, 1988). Bei Kindern und Jugendlichen wird jede kieferorthopädische Behandlung durch das Wachstum wesentlich beeinflusst. Der kieferorthopädischen Behandlungsbeginn wird etwa um das zehnte Lebensjahr angesetzt, um welches in der Regel das späte Wechselgebiss und die präpubertäre Wachstumsbeschleunigung beginnen (Kahl-Nieke, 2001). Für diese Untersuchungen betrug der Mittelwert des Lebensalters der Patienten $11,1 \pm 1,1$ Jahre. In dieser Wachstums- und Gebissphase ist neben der Ausnutzung der Wachstumsprozesse, eine Steuerung des Zahndurchbruchs möglich, während dabei die Umformbereitschaft des Gewebes besonders groß ist. Die Umbaufähigkeit der Kiefergelenke kann ausgenutzt werden. Auch ist die Kooperationsbereitschaft der Kinder und Jugendlichen am größten (Kahl-Nieke, 2001). Da das Wachstum aber die Therapie sowohl unterstützen als auch behindern kann, wäre eine zuverlässige Voraussage des zu erwartenden Wachstums in Intensität, Zeitpunkt und Richtung bedeutend, was aber leider nicht mit guter Genauigkeit prognostizieren lässt. Die Wachstumsintensität ist vom Wachstumsstadium abhängig und die Menge des zu erwartenden Restwachstums von der restlichen Dauer des Wachstums. Der Zeitpunkt der unterschiedlichen Wachstumsschübe unterliegt individuellen Schwankungen und ist unabhängig vom chronologischen Alter und vom Zahnalter, wodurch eine direkte Bestimmung des Wachstumsstadiums nicht möglich ist. Eine genaue Bestimmung des Wachstumsstadiums kann durch die Auswertung einer Handwurzelaufnahme erfolgen (Hägg und Taranger, 1980). Die Prognose der Wachstumsrichtung ist sehr problematisch, da alle Prognosemethoden auf der Extrapolation morphologischer Merkmale zum Untersuchungszeitpunkt basieren, wobei ein gleichmäßiger Wachstumsablauf mit unveränderter Wachstumsrichtung angenommen wird. Untersuchungen von Baumrind et al. (1984), Björk (1969), Skieller et al. (1984) und zahlreichen Weiteren widersprechen jedoch dieser Annahme.

Von jedem Patient werden ein FRS-Bild und ein zeitlich dazugehöriger Konturlinien-Plot erzeugt. Da es sich bei dieser Studie um Auswertungen an Kindern und Jugendlichen

handelt, sollte das Erstellen von FRS-Bild und dem dazu gehörigen Konturlinien-Plot möglichst zeitnah geschehen, weil sich die Kieferverhältnisse durch das Wachstum verändern (Kap. 2.1.1. und s. o.).

Obwohl die Tendenz der Wachstumsrichtung mit dem Lebensalterbereich bekannt ist, kann der Wachstumsfortschritt doch bei jeden Patienten individuell unterschiedlich sein und von den in der Literatur bekannten Durchschnittswerten abweichen (Kap. 2.1.1. und s. o.). Da nicht genau gesagt werden kann, wann bei einem Kind oder Jugendlichen ein Wachstumsschub stattgefunden hat oder wieder stattfinden wird und in welche Richtung das Wachstum gerade fortschreitet, kann dadurch die Überlagerung von FRS-Bild mit dem Konturlinien-Plot erschwert werden, wenn das FRS-Bild nicht am gleichen Tag wie die Ultraschallmessung erstellt wurde. Je weiter also die Fernröntgenseitenaufnahme vom Konturlinien-Plot abweicht, desto schwieriger gestaltet sich aus den schon oben genannten Wachstumsveränderungen der Kinder und Jugendlichen die Überlagerung des FRS-Bildes mit dem dazu gehörigen Konturlinien-Plot. Sollte jedoch in diesem Zeitraum kein Wachstum stattgefunden haben, können FRS-Bild und Konturlinien-Plot trotz einer größeren zeitlichen Differenz nach der im Kapitel 3.2.4. genannten Methode gut überlagert werden. Im Idealfall jedoch werden FRS-Bild und Konturlinien-Plot von einem Patienten am gleichen Tag erstellt. In dieser Untersuchungsreihe gibt es zeitliche Differenzen von Null Tagen bis 17 Monaten. Als größte zeitliche Differenz werden zwölf Monate genommen, wodurch einige FRS-Bilder der jugendlichen Patienten aus der Auswertung fallen. Es verbleiben dann 51 FRS-Bilder und 69 zeitnahe Messungen. Bei der Überlagerung von FRS-Bild und Konturlinien-Plot werden die zeitlichen Änderungen durch Wachstum gleich Null angenommen. Dieser Sachverhalt hat zur Folge, dass der Punkt P_{IP} sieben Millimeter vor dem unteren Frontzahn entfernt liegt und der Punkt OP auf der anterioren, knöchernen Kante zu liegen kommt (Kap. 3.2.4.), ganz gleich, ob die zeitliche Differenz von Messung zu FRS-Bild 1 Tag oder 12 Monate beträgt.

5.2.3. Lage der Punkte P_{min} , P_{NM} , L_{min} und g_0 innerhalb und außerhalb knöcherner Strukturen des Unterkiefers

Ziel dieser Dissertation war es, die herkömmliche Darstellung anatomischer Strukturen von FRS-Bildern in Verbindung zu den Bewegungen der Mandibula zu setzen. Die anatomischen Strukturen können funktionell an Bedeutung gewinnen, wenn ihnen Bewegungsstrukturen zugeordnet werden. Kubein-Meesenburg et al. (2006) untersuchten Zusammenhänge von

FRS-Bild und der Kinematik der Mandibula bezüglich der Bewegung mandibulärer Punkte und skelettaler Strukturen. Dabei entdeckten sie unter anderem die markanten Punkte P_{\min} , P_{NM} , L_{\min} sowie die Gerade g_0 , welche Aufschluss über die Qualität der neuromuskulären Steuerung der Unterkieferbewegungen geben. Funktionelle Störungen bei den Patienten sollen so besser erkannt werden.

Diese Untersuchung zur Lage des Punktes P_{\min} hat ergeben, dass er zu 59 % außerhalb der knöchernen Strukturen des Kondyluskopfes liegt. Dieser Punkt bewegte sich bis zur maximalen Mundöffnung vorwärts und beim Mundschließen wieder rückwärts, so dass er den Eigenschaften einer beweglichen Scharnierachse entsprach und die neuromuskuläre, mandibuläre Drehachse darstellt (Thieme et al., 2006).

Das Ergebnis zur Untersuchung des Punktes P_{NM} zeigt, dass er zu 72% distal außerhalb der knöchernen Strukturen der Mandibula liegt.

Zu 81% liegt L_{\min} innerhalb der knöchernen Struktur des Kondyluskopfes und meist unter dem Punkt P_{\min} .

Beim Überlagern der Konturlinien-Plots mit den dazugehörigen FRS-Umriss-Folien verläuft die Halswirbelsäule in 65% parallel zur Geraden g_0 und geht durch die Sella turcica. Dies ist Folge eines während der Messung aufrecht sitzenden Patienten, welcher damit die Ausgangsposition für die Bewegung des starren Mandibulakörpers vorgibt.

Da diese Punkte bezüglich ihrer Prozentwerte eine eindeutige Kartographisierung zulassen, legt die Verknüpfung von FRS-Bild mit der dazugehörigen Messung der Mandibulabewegungen den Schluss nahe, dass Mandibula, Maxilla und Wirbelsäule als funktionelle Einheit betrachtet werden müssen. Um der Analyse von FRS-Bildern neue Bedeutung zu geben, müssen also kinematische Eigenschaften und skelettale Anordnungen zusammen gesehen werden.

5.2.4. Korrelationen im Datensatz und Faktorenanalyse

Um Zusammenhänge zwischen den kephalometrischen und den kinematischen Variablen zu finden, wurde eine mögliche Beziehung zwischen kephalometrischen Variablen und kinematischen Variablen mit einer Korrelationsberechnung untersucht (Kap. 4.2.12.). Wie in Tabelle 5 zu erkennen ist, korrelieren nur die kephalometrischen Variablen untereinander und die kinematischen Variablen untereinander. Es gibt keine hohen Korrelationen zwischen kephalometrischen und kinematischen Variablen.

Da mit den Korrelationsberechnungen keine Zusammenhänge zwischen kephalometrischen und kinematischen Variablen herausgefiltert werden konnten, wurde zusätzlich eine Faktorenanalyse (Kap. 4.2.14.) durchgeführt, um mögliche Substrukturen in den Koordinaten der Minima (= kinematische Variablen) zu finden. So ergab die Faktorenanalyse mit sechs Faktoren, dass der letzte Faktor zehnmal weniger Varianz erklärte als der vorletzte. Daher wurde die abschließende Faktorenanalyse mit fünf Faktoren durchgeführt (Tab. 7, Kap. 4.2.14.). Es zeigte sich, dass der fehlende Faktor dadurch zu Stande kam, dass in Faktor 4 sowohl xHM als auch xLM vereinigt waren. Zu den anderen Koordinaten der Minima gab es jeweils einen gesonderten Faktor. Ebenso findet sich im ersten Faktor sowohl ein Beitrag von yLM als auch von yHM mit Ladung 0.57 (siehe [blaue](#) Werte in Tabelle 7). Faktor 6 ist dann eine nähere Spezifikation von Faktor 1 und demnach sind Haupt- und Längenminimum miteinander verwandt. In Faktor 1 korrelieren die Variablen yLM, S MML X, A MML-Cp, A MML-Tc und g0yLM miteinander. Dabei korreliert yLM mit g0yLM in diesem Faktor, weil die Variablen nur in einem anderen Koordinatensystem dargestellt werden. S MML X, A MML-Cp und A MML-Tc beschreiben die geometrische Lage von MML im neuen Koordinatensystem durch den Kondylenmittelpunkt Cp. Da in Faktor 1 zusätzlich der y-Wert für das Längenminimum (yLM) bezüglich desselben Koordinatensystems in Cp sowie bezüglich der Geraden g_0 vertreten ist, ist dadurch ein Zusammenhang zwischen der Minimal-/Maximallinie MML und dem Längenminimum L_{\min} bestätigt (siehe auch Kap. 3.2.3., 3.2.5. und 3.2.6.). In Faktor 2 korrelieren die Variablen yNM und g0yNM miteinander, was sich dadurch erklären lässt, dass die Variablen nur in einem anderen Koordinatensystem dargestellt werden. In Faktor 3 korrelieren die Variablen xNM, A WZ-MML und $g_0^\circ X$ miteinander. Bis auf xNM stellen die Variablen A WZ-MML und $g_0^\circ X$ Verbindungen von kephalometrischen mit kinematischen Variablen dar. Die Korrelationen in Faktor 3 lassen sich daher erklären, da es die einzigen Variablen der Faktorenanalyse sind, die in sich schon eine Kombination von kephalometrischen mit kinematischen Variablen aufweisen. In Faktor 5 korrelieren yHM und g0yHM was sich ebenso wie für Faktor 2 dadurch erklären lässt, dass die Variable nur in einem anderen Koordinatensystem dargestellt wird.

5.2.5. Varianzanalyse nach Geschlecht

Nach der Varianzanalyse (Weiß, 2010) in Abhängigkeit vom Geschlecht (Kap. 4.2.13.) ergaben sich keine hoch signifikanten oder signifikanten Abhängigkeiten. Lediglich der

Kieferwinkel (GnGoAr°) und die funktionelle dentobasale Zuordnung der Oberkiefer-Inzisivi (β°) zeigten schwache Signifikanzen bei der Varianzanalyse nach Geschlecht, die auch durch den Wilcoxon-Test (Weiß, 2010) bestätigt werden. Der GnGoAr° ist Ausdruck der Relation des Ramus zum Corpus mandibulae. Mit diesem Winkel kann eine Prognose über die Wachstumsrichtung (vertikal oder horizontal) erstellt werden (Lohrmann und Nikow, 2002). Der β° ist eine individuelle Größe des Oberkiefer-Inzisivus und bezeichnet den Winkel zwischen der Zahnachse und der Wendepunkt tangente (Lohrmann und Nikow, 2002). Da beim weiblichen Geschlecht das Wachstum um das 18. Lebensjahr früher abgeschlossen ist als beim männlichen Geschlecht mit dem 21. Lebensjahr (Kahl-Nieke, 2001), gelten diese Wachstumsunterschiede während der gesamten Entwicklung als Begründung für die schwache Signifikanz bei der Varianzanalyse. Gleiches gilt für den β° , jedoch können Zahnstellungen auch genetisch bedingt sein. Für aussagekräftige Erkenntnisse bedarf es aber weiterer Information zur Familienanamnese. Diese Informationen standen im Rahmen dieser Dissertation jedoch nicht zur Verfügung.

Der Wilcoxon-Test dient der Untermauerung der Ergebnisse aus der Varianzanalyse, indem der p-Wert aus dem Wilcoxon-Test mindestens den gleichen Wert wie das Ergebnis des F-Test bei der Varianzanalyse hat oder sogar noch extremer ist. Das Ergebnis des Wilcoxon-Tests ist überraschend, da noch zwei Parameter neu hinzukamen, die vorher in der Varianzanalyse nach Geschlecht nicht in Erscheinung traten. Diese Parameter sind der Winkel der Minimal-/Maximal-Linie zur x-Achse (MML° X) und der Winkel der Linie der Widerstandszentren zur x-Achse (WZL° X). Wie die für den GnGoAr° beschriebenen Wachstumsunterschiede vom weiblichen und männlichen Geschlecht, können die Minimal-/Maximal-Linie MML und die Linie der Widerstandszentren WZL geschlechtsspezifisch in Abhängigkeit vom Wachstum unterschiedlich zur x-Achse des neuen Koordinatensystems liegen.

Wird beim Wilcoxon-Test die funktionale Länge der Mandibula (FLM) als normierende Länge festgelegt, kann untersucht werden, ob ein Größeneffekt besteht. Bei diesen Untersuchungen trat aber kein Größeneffekt auf. Die funktionale Länge der Mandibula betrug in den Auswertungen $9,4 \pm 0,57$ cm und schwankt somit eng um einen Wert. Jedoch hat die funktionale Länge der Mandibula keinen Einfluss auf die Variablen beim Wilcoxon-Test.

5.2.6. Lage von MML und WZL

Mit dem Ziel, die herkömmliche Darstellung anatomischer Strukturen von FRS-Bildern in Verbindung zu den Bewegungen der Mandibula zu setzen, wurden im Rahmen dieser Dissertation die Lage von der Minimal-/Maximal-Linie MML und die Lage von der Linie der Widerstandszentren WZL untersucht. Nach der folgenden Zusammenfassung der Ergebnisse aus Kapitel 4.2.5. zur Lage von MML und WZL werden die gefundenen Zusammenhänge zwischen den kephalometrischen und kinematischen Daten diskutiert. Die eindeutigen Befunde bestätigen die Arbeitshypothese und liefern neue Erkenntnisse für weitere wissenschaftliche Untersuchungen:

- Als deutliches Ergebnis dieser Untersuchungen ist hervorzuheben, dass die Minimal-/Maximallinie MML im Bereich der oberen Zähne lokalisiert ist. Somit gewinnen die anatomischen Strukturen funktionell an Bedeutung, da ihnen erstmals Bewegungsstrukturen zugeordnet werden können. Für die genauere Betrachtung des Bereiches der oberen Zähne, wurde zwischen der Linie der Widerstandszentren WZL und der Okklusionsebene OE im Abschnitt WZ-1cm bis WZ+6cm als Annäherung an den oberen Mundraum ein zu untersuchender Bereich definiert (Kap. 4.2.5., Abb.60). In diesem Bereich wurde der Abstand d von der Minimal-/Maximallinie MML senkrecht durch das Widerstandszentrum WZ auf der y-Achse, die Steigung t der Minimal-/Maximallinie MML und die Schnittpunkte von den Minimal-/Maximallinien MML mit der Linie der Widerstandszentren WZL berechnet. Mit diesen Daten wurde dann die Abbildung 65 in Kapitel 4.2.5. erstellt, in welcher der Verlauf der Minimal-/Maximallinien MML zur Linie der Widerstandszentren WZL zu sehen ist. Die Minimal-/Maximallinien MML verlaufen etwa $0 \pm 0.6\text{cm}$ ober- und unterhalb der Linie der Widerstandszentren WZL bei -1.4cm (also posterior) vom Widerstandszentrum WZ. Das entspricht etwa dem ersten, oberen Molar. Der Bereich des ersten, oberen Molars wurde wie in Kapitel 4.2.5. beschrieben noch weiter gegliedert und untersucht. Das Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen eindeutige Prozentwerte: 52,2% der Minimal-/Maximallinien MML verlaufen durch die Wurzel des ersten, oberen Molars und 27,5% durch den koronalen Anteil. Damit liegen 79,9% innerhalb und nur 20,3% aller Minimal-/Maximallinien MML außerhalb des ersten, oberen Molars (Kap. 4.2.5.). Bei Betrachtung des oberen, mittleren Inzisivus entsprechen die Prozentwerte der innerhalb und außerhalb vom oberen, mittleren Inzisivus verlaufenden Minimal-/Maximallinien MML denen des ersten, oberen Molars. Die Gliederung der innerhalb des oberen, mittleren Inzisivus verlaufenden Minimal-/Maximallinien MML zeigt, dass 47,8% der Minimal-/Maximallinien MML durch die Wurzel

des oberen, mittleren Inzisivus und 31,9% durch den coronalen Anteil verlaufen (Kap. 4.2.5.). Mit diesen Prozentwerten wird deutlich, dass der größte Teil der Minimal-/Maximallinien MML innerhalb des ersten, oberen Molars, sowie des oberen, mittleren Inzisivus und hauptsächlich durch die Wurzeln der beiden genannten oberen Zähne verläuft. Dieser gefundene Zusammenhang von kephalometrischen mit kinematischen Variablen zeigt die funktionelle Bedeutung der anatomischen Strukturen, da diesen Bewegungsstrukturen zugeordnet werden können. Das stomatognathe System ist aus struktureller und funktioneller Sicht sehr komplex (Krogh-Poulsen und Troest, 1989). Im stomatognathen System erfüllen die Zahnreihen die Aufgaben der Abstützung des Unterkiefers gegen den Gesichtsschädel und der okklusalen Sensibilität, die durch die parodontalen Rezeptoren vermittelt wird (Krogh-Poulsen und Troest, 1989). Über das neuromuskuläre System werden die Informationen an das Zentralnervensystem (ZNS) weitergeleitet, dort verarbeitet und als Funktionsmuster wieder an die oralen, parodontalen, muskulären und artikulären Rezeptoren ausgegeben, wodurch genau aufeinander abgestimmte Aktivitäten der Muskulatur, der Kiefergelenke, den parodontalen Strukturen und der Okklusion ausgeführt werden (Krogh-Poulsen und Troest, 1989). Die Okklusion ist definiert als jeder Kontakt zwischen den Oberkiefer- und Unterkieferzähnen, wobei zwischen statischer Okklusion ohne Bewegung des Unterkiefers und dynamischer Okklusion bei Bewegung des Unterkiefers unterschieden wird (Kahl-Nieke, 2001). Auf diesen allgemeinen Grundlagen basierend müssen weitere Untersuchungen angestrebt werden, um die komplexen Zusammenhänge zwischen den anatomischen Gegebenheiten und funktionellen Bewegungsstrukturen zu verstehen. Wie in diesen Untersuchungen deutlich geworden ist, muss der erste, obere Molar und dessen Funktion in Bezug auf Bewegungsvorgänge genauer betrachtet werden. Bekannt ist bereits, dass mit dem Durchbruch der ersten Molaren während der postnatalen Entwicklung eine zweite physiologische Bisshebung stattfindet (Kahl-Nieke, 2001). Die Okklusionsebene wird durch die mesio-buccalen Höckerspitzen der ersten Molaren und den Inzisalpunkt festgelegt (Kahl-Nieke, 2001). Die Okklusionsebene im Milchgebiss verläuft flach und mit der zweiten physiologischen Bisshebung entsteht die Spee-Kurve, welche ca. 1,5 mm tief ist (Kahl-Nieke, 2001). Die physiologische Bisshebung, die Okklusionsebene und die Spee-Kurve entwickeln sich während des Wachstums, was im Zusammenhang mit dem Bewegungsapparat stehen muss. Der erste Molar ist das Kauzentrum, in welchem ein Kaudruck von 800N/cm^2 in der Fachliteratur angegeben wird (Gühning und Barth, 1992). Wenn der Kaudruck einen Grenzwert überschreitet, wird eine weitere Steigerung der Kaukraft reflektorisch verhindert, so dass der Zahnhalteapparat vor Überlastung geschützt wird (Gühning und Barth, 1992).

Auch daran ist ein Zusammenhang zwischen den anatomischen Gegebenheiten und den funktionellen Eigenschaften des stomatognathen Systems unverkennbar. Der Verlauf von 79,7% der Minimal-/Maximallinien MML durch den ersten, oberen Molaren könnte auch in Zusammenhang mit dem größten Kaudruck in dem Bereich der ersten Molaren stehen und sollte in weiteren Arbeiten untersucht werden.

- Die Streuung der Minimal-/Maximallinien MML um die Linie der Widerstandszentren WZL zeigt im Zusammenhang zur oben genannten Lage der Minimal-/Maximallinien MML im Bereich der oberen Zähne ebenfalls deutliche Ergebnisse, welche die Wissenschaftskenntnisse bereichern. In Untersuchungen der Lagebeziehung beider Linien zueinander konnte gezeigt werden, dass 78% einen Zwischenwinkel bis 10° aufweisen. Immerhin noch 56% haben einen Zwischenwinkel bis 5° (Kap. 4.2.5.). Werden die Zwischenwinkel bis 5° bzw. bis 10° als „fast parallel“ bezeichnet, besteht ein Zusammenhang zwischen der kinematischen Minimal-/Maximal-Linie MML und der anatomischen Linie der Widerstandszentren WZL und dem Widerstandszentrum WZ. 91,3% der Minimal-/Maximal-Linie MML liegen im Bereich zwischen 1 cm oberhalb und 1 cm unterhalb des Widerstandszentrums WZ, was auch die Häufigkeitsverteilung in Abbildung 58 bestätigt. Wird der Bereich 0,5 cm oberhalb und unterhalb des Widerstandszentrums WZ betrachtet, liegen immer noch 66,7% der Minimal-/Maximallinien MML innerhalb dieses Bereiches. Dies ist ein zufrieden stellendes Ergebnis, auf dessen Grundlage weiterführende Untersuchungen aufgebaut werden sollte. Bei Betrachtung der Größe des Winkels zwischen MML und WZL läßt sich in Abbildung 59 eine ausgeprägte Häufigkeitsverteilung erkennen. Die größte Häufigkeit der MML-WZL $^\circ$ liegt oberhalb der Linie der Widerstandszentren WZL zwischen 0° und 5° . Untersuchungen des cm-Abstandes der Minimal-/Maximal-Linie MML zum Kondylenmittelpunkt Cp haben ergeben, dass die meisten Minima-/Maximal-Linien MML unterhalb des Kondylenmittelpunktes Cp im Bereich zwischen 0,0 cm und -1,5 cm verlaufen. Auch bei Untersuchungen des cm-Abstandes von der Linie der Widerstandszentren WZL zum Kondylusmittelpunkt Cp ist auffällig, dass alle Linien der Widerstandszentren WZL unterhalb des Kondylusmittelpunktes Cp liegen, meist im Bereich von -0,5 cm bis -1,5 cm. Diese Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass kinematische Eigenschaften und skelettale Anordnungen zusammen gesehen werden müssen. Dies unterstreichen auch die fast deckungsgleichen Ergebnisse aus den Untersuchungen zum Schnittpunkt von den Minimal-/Maximal-Linien MML und von den Linien der Widerstandszentren WZL mit der x-Achse des neuen Koordinatensystems. Die meisten Schnittpunkte von MML mit der x-Achse liegen

im Bereich von -6,0 cm bis 0,0 cm und die meisten Schnittpunkte von WZL mit der x-Achse im Bereich von -6,0 cm bis -1,0 cm.

- Wegen des schon oben genannten Zusammenhangs zwischen der kinematischen Minimal-/Maximal-Linie MML und der anatomischen Linie der Widerstandszentren WZL und dem Widerstandszentrum WZ ist es sinnvoll, die Fernröntgenanalyse mit dem Widerstandszentrum WZ und der Linie der Widerstandszentren WZL zu erweitern (Kap. 4.2.12.). Mit dieser erweiterten Fernröntgenanalyse können dann die markierte Linie der Widerstandszentren WZL und das markierte Widerstandszentrum WZ den Bewegungsmessungen der Mandibula zugeordnet werden.

5.3. Ansätze für weiterführende Untersuchungen

In weiteren Untersuchungen sollten die vergleichenden Untersuchungen von FRS-Bildern und Messungen von Mandibulabewegungen an jugendlichen Patienten unter Berücksichtigung der folgenden Voraussetzungen in der hier angewendeten Methodik analysiert werden:

Um mit der Überlagerung der FRS-Bilder und Konturlinien-Plots noch aussagekräftigere Ergebnisse erzielen zu können, sollte das FRS-Bild am gleichen Tag wie die dazugehörige Messung der Unterkieferbewegungen erstellt werden. Auf diese Weise muss nur der Konturlinien-Plot an den Vergrößerungsfaktor des FRS-Bildes angepasst werden, der hierfür natürlich bekannt sein muss. Es wird so vermieden, dass durch einen eventuellen Wachstumsschub des jugendlichen Patienten in der Zeit zwischen der Messung der Unterkieferbewegungen und dem Erstellen des FRS-Bildes die Überlagerung nicht exakt nach der hier angewendeten Methode durchgeführt werden kann. Daraus entstehenden Auswertungsdifferenzen beziehungsweise Auswertungsungenauigkeiten werden verhindert. Untersuchungen von Lohrmann et al., (2006) haben jedoch gezeigt, dass sich FRS-Bilder innerhalb von einem Jahr kaum beziehungsweise gar nicht verändert haben. Das Röntgen der Patienten innerhalb eines Jahres bringt demnach keine neuen Erkenntnisse über Veränderungen der knöchernen Strukturen, sondern bedeutet nur eine erhöhte Strahlenbelastung für den Patienten (Lohrmann et al., 2006). Auf Grund dieser Ergebnisse kann das Wachstum und die damit verbundenen Veränderungen für die Überlagerung die Aussagekraft nicht beeinträchtigen. Des Weiteren sollte bei dieser Methode immer nur eine Person die Auswertung der FRS-Bilder mit der Software *fr-win-professional* von *computer*

konkret dental software vornehmen, wodurch die Winkelstreuung gering gehalten wird. Zu diesem Thema sollten genaue Untersuchungen durchgeführt werden, da jede auswertende Person ein eigenes Auswerteschema hat und die Punkte unterschiedlich markieren wird. Um mit der Software *fr-win-professional* von *computer konkret dental software* die Punkte einfacher und genauer markieren zu können, muss die Qualität der FRS-Bilder verbessert werden (Kap. 5.1.1.). Entscheidend für weitere Untersuchungen ist eine Erweiterung der Fernröntgenanalyse mit dem Widerstandszentrum WZ und der Linie der Widerstandszentren WZL (Kap. 5.2.6.). Wenn diese Daten in der Fernröntgenanalyse aufgenommen werden, können Zusammenhänge von kephalometrischen und kinematischen Daten weiter untersucht werden.

Im Rahmen dieser Dissertation wurden Auswertungen an Klasse II Patienten durchgeführt. Untersuchungen an Klasse I und Klasse III Patienten würden die Ergebnisse aus dieser Arbeit ergänzen und komplettieren. Ebenso sollten Überlagerungen aus der Zeit zu Beginn der kieferorthopädischen Behandlung mit Überlagerungen nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung verglichen werden, was zu neuen Erkenntnissen zu Gunsten der Behandlungsmethoden führen könnte.

6. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit vergleichenden Untersuchungen von FRS-Bildern und Messungen von Mandibulabewegungen an jugendlichen Klasse II-Patienten im Rahmen der Zusammenarbeit zwischen den kieferorthopädischen Abteilungen Regensburg und Göttingen. Für diese Untersuchungen wurde eine neue Methode entwickelt, mit welcher die Überlagerung von anatomischen Strukturen (FRS-Bilder bzw. Unterkiefer-Umriss-Folien) mit zeitnahen sagittalen Messungen der Unterkieferbewegungen und den entsprechenden Konturlinien-Plots ermöglicht wird. Die anatomischen Strukturen der FRS-Bilder werden in der Sagittalebene zweidimensional dargestellt. Unterkieferbewegungen sind allgemein dreidimensional. Aus dieser dreidimensionalen Bewegung werden zweidimensionale Bewegungen in der Sagittalebene ausgewählt, indem der Inzisalpunkt während der Bewegung das Posselt-Diagramm beschreibt. Dieser Sachverhalt ermöglicht die Zuordnung der anatomischen Strukturen aus den FRS-Bildern zu den Konturlinien-Plots aus den Messungen der Unterkieferbewegungen. Die Untersuchungen können in zwei Abschnitte gegliedert werden.

Im ersten Abschnitt wurden an 51 FRS-Bildern 102 kephalometrische Fernröntgenseitenanalysen modifiziert nach Hasund (1974) mit der Software *fr-win-professional* von *computer konkret dental software* erstellt. Von allen Winkeln und Strecken wurden der Mittelwert, der Median, die Standardabweichung, der minimale und der maximale Wert ermittelt. Von allen Parametern wurden die ML-NL-, ML-NSL- und NL-NSL-Winkel untersucht, weil sie eine Aussage zur Lagebeziehung von Maxilla und Mandibula zur Schädelbasis geben. Die eindeutige, reproduzierbare Auffindbarkeit der dazugehörenden Punkte wurde bestimmt. In den vorliegenden Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass die markierten Punkte, Winkel und Strecken auch bei schlechter FRS-Bild-Qualität und den dadurch resultierenden, unterschiedlichen Markierungsmöglichkeiten dem Normbereich aus der Literatur weitgehend entsprechen. Auch bei eventuell leicht abweichender Markierung der Punkte ist also eine aussagekräftige Auswertung möglich.

Im zweiten Untersuchungsabschnitt waren 69 Messungen der Mandibulabewegungen zeitnah genug zu den Aufnahmen der 51 FRS-Bilder, um in die vergleichende Studie im Rahmen dieser Dissertation aufgenommen zu werden, womit 69 FRS-Konturlinienplot-Überlagerungen erstellt wurden. Um die Überlagerungen mit unterschiedlichen Vergrößerungsfaktoren auswerten und vergleichen zu können, wurde ein neues Koordinatensystem erzeugt, welches unter Berücksichtigung der Umrechnung des Vergrößerungsfaktors die Eintragung der gemessenen Punkte in ein gemeinsames Koordinatensystem ermöglicht. Die Punkte P_{\min} , P_{NM} und L_{\min} , sowie die Gerade g_0 zeigen

interessante Verlaufsformen in den Konturlinien-Plots, weswegen diese Punkte in Bezug zu den anatomischen Strukturen gebracht wurden. Der Punkt P_{\min} liegt zu 59% außerhalb der knöchernen Strukturen des Kondyluskopfes. Dieser Punkt bewegte sich bis zur maximalen Mundöffnung vorwärts und beim Mundschließen wieder rückwärts, so dass er den Eigenschaften einer beweglichen Scharnierachse entsprach und die neuromuskuläre, mandibuläre Drehachse darstellt (Thieme et al., 2006). Der Punkt P_{NM} liegt zu 72% außerhalb und posterior der knöchernen Strukturen der Mandibula. Zu 81% liegt L_{\min} innerhalb der knöchernen Struktur der Mandibula. P_{\min} und L_{\min} liegen meist untereinander. Die Punkte P_{\min} , P_{NM} und L_{\min} haben eine enge Lagebeziehung zur Gerade g_0 , die in 65% parallel zur Halswirbelsäule verläuft. Da diese Punkte bezüglich ihrer Prozentwerte eine eindeutige Kartographisierung zulassen, legt die Verknüpfung von FRS-Bild mit der dazugehörigen Messung der Mandibulabewegungen den Schluss nahe, dass Mandibula, Maxilla und Wirbelsäule als funktionelle Einheit betrachtet werden müssen. Um der Analyse von FRS-Bildern neue Bedeutung zu geben, müssen also kinematische Eigenschaften aus den Konturlinien-Plots und skelettale Anordnungen aus den FRS-Bildern zusammen gesehen werden. Untersuchungen zur Lage von der Minimal-/Maximal-Linie MML und der Linie der Widerstandszentren WZL führen ebenfalls zu diesem Schluss. Als deutliches Ergebnis dieser Untersuchungen ist hervorzuheben, dass die Minimal-/Maximallinie MML im Bereich der oberen Zähne lokalisiert ist. Somit gewinnen die anatomischen Strukturen funktionell an Bedeutung, da ihnen erstmals Bewegungsstrukturen zugeordnet werden können. Die Minimal-/Maximallinien MML verlaufen etwa 0 ± 0.6 cm ober- und unterhalb der Linie der Widerstandszentren WZL bei -1.4 cm (also posterior) vom Widerstandszentrum WZ. Das entspricht etwa dem ersten, oberen Molar. 79,9% aller Minimal-/Maximallinien MML liegen innerhalb und nur 20,3% außerhalb des ersten, oberen Molars, entsprechende Prozentwerte hat der obere, mittlere Inzisivus. Die Lagebeziehung der Minimal-/Maximal-Linie MML und der Linie der Widerstandszentren WZL zueinander zeigt in 78% einen Zwischenwinkel bis 10° . Immerhin noch 56% haben einen Zwischenwinkel bis 5° . Werden die Zwischenwinkel bis 5° bzw. bis 10° als „fast parallel“ bezeichnet, besteht ein Zusammenhang zwischen der kinematischen Minimal-/Maximal-Linie MML und der anatomischen Linie der Widerstandszentren WZL und dem Widerstandszentrum WZ. Auch diese Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass kinematische Eigenschaften und skelettale Anordnungen zusammen gesehen werden müssen und auf dessen Grundlage weiterführende Untersuchungen aufgebaut werden sollten. Untersuchungen des cm-Abstandes der Minimal-/Maximal-Linie MML zum Kondylenmittelpunkt C_p haben ergeben, dass die meisten Minima-/Maximal-Linien MML unterhalb des Kondylenmittelpunktes C_p im Bereich zwischen 0,0 cm und -1,5 cm verlaufen.

Auch bei Untersuchungen des cm-Abstandes von der Linie der Widerstandszentren WZL zum Kondylusmittelpunkt Cp ist auffällig, dass alle Linien der Widerstandszentren WZL unterhalb des Kondylusmittelpunktes Cp liegen, meist im Bereich von -0,5 cm bis -1,5 cm. Korrelationen im Datensatz mit allen Patienten ohne fehlende Werte wurden berechnet, um weitere Zusammenhänge zwischen den kephalometrischen und den kinematischen Variablen zu finden. Das führte jedoch zu dem Ergebnis, dass es keine hohen Korrelationen zwischen kephalometrischen Daten aus der Fernröntgenanalyse und kinematischen Variablen gibt und nur die kephalometrischen Variablen untereinander und die kinematischen Variablen untereinander korrelieren. Jedoch sind die Linie der Widerstandszentren WZL und das Widerstandszentrum WZ ebenfalls kephalometrische Variablen, die auf den FRS-Bildern abgelesen werden können, aber nicht in der Fernröntgenanalyse erfasst werden. Genau diese kephalometrischen Variablen zeigen Korrelationen mit den kinematischen Daten. Eine erweiterte Fernröntgenanalyse unter Einbeziehung der Linie der Widerstandszentren WZL und des Widerstandszentrum WZ ist somit für weiterführende Untersuchungen erforderlich, um Zusammenhänge zwischen kephalometrischen und kinematischen Variablen darstellen zu können. Zusätzlich wurde eine Faktorenanalyse durchgeführt, um mögliche Substrukturen in den Koordinaten der Minima (= kinematische Variablen) zu finden. Die Ergebnisse aus der Faktorenanalyse zeigen keine Zusammenhänge von kephalometrischen mit kinematischen Variablen. Nach der Varianzanalyse in Abhängigkeit vom Geschlecht ergaben sich ebenfalls keine hoch signifikanten oder signifikanten Abhängigkeiten. Lediglich der Kieferwinkel ($GnGoAr^\circ$) und die funktionelle dentobasale Zuordnung der Oberkiefer-Inzisivi (β°) zeigten schwache Signifikanzen bei der Varianzanalyse (Weiß, 2010) nach Geschlecht, die auch durch den Wilcoxon-Test (Weiß, 2010) bestätigt wurden.

Die Fernröntgenseitenanalyse muss mit der Linie der Widerstandszentren WZL und dem Widerstandszentrum WZ erweitert werden, um Zusammenhänge zwischen kephalometrischen und kinematischen Variablen darstellen und untersuchen zu können. Das FRS-Bild sollte in weiterführenden Untersuchungen am gleichen Tag wie die dazugehörige Messung der Unterkieferbewegungen erstellt werden, um mit der Überlagerung der FRS-Bilder und Konturlinien-Plots noch aussagekräftigere Ergebnisse erzielen zu können. Im Rahmen dieser Dissertation wurden Auswertungen an Klasse II Patienten durchgeführt. Untersuchungen an Klasse I und Klasse III Patienten würden die Ergebnisse aus dieser Arbeit ergänzen und komplettieren. Ebenso sollten Überlagerungen aus der Zeit zu Beginn der kieferorthopädischen Behandlung mit Überlagerungen nach Abschluss der kieferorthopädischen Behandlung verglichen werden, was zu neuen Erkenntnissen zu Gunsten der Behandlungsmethoden führen könnte.

7. Literaturverzeichnis

Anagnostopoulou, S., Venieratos, D., 1986.

Quantitative method for the classification of human mandibular condyles.

Acta. Anat. 127, 201-204.

Bade, H., 1999.

The function of the discomuscular apparatus in the human temporomandibular joint.

Ann. Anat. 181, 65-67.

Baumrind, S., Korn, E. L., West, E. E., 1984.

Prediction of mandibular rotation: An empirical test of clinical performance.

Am. J. Orthod. 86, 371-385.

Baumrind, S., Korn, E. L., Ben-Bassat, J., 1987.

Quantitation of maxillary remodelling.

Am. J. Orthod. 91, 29-45.

Benner, K.-U., 1993.

Bau, Innervation und rezeptive Strukturen des Kiefergelenkes.

In: Benner, K.-U., Fanghänel, J., Kowalewski, R., Kubein-Meesenburg, D., Randzio, J. (Hrsg.). Morphologie, Funktion und Klinik des Kiefergelenkes.

1. Aufl., Quintessenz, Berlin, New York, 175-184.

Björk, A., 1955.

Facial growth in man, studied with the aid of metallic implants.

Acta. Odontol. Scand. 13, 9-34.

Björk, A., 1960.

The relationship of the jaws to the cranium.

In: Lundström, A. (Ed.). Introduction to orthodontics.

McGraw-Hill Book, New York, Toronto, London.

Björk, A., 1969.

Prediction of mandibular growth rotation.

Am. J. Orthod. 55, 585-599.

Boering, G., 1979.

Anatomical and physiological considerations regarding the temporomandibular-joint.

Int. Dent. J. 29, 245-251.

Brown, T., 1975.

Mandibular movements.

Monogr. Oral Sci. 4, 126-150.

Burstone, C. J., 1962.

The biomechanics of tooth movement.

In: Kraus, B. S., Reidel, R. A. (Eds.). Vistas in Orthodontics.

Lea & Febiger, Philadelphia.

Carpentier, P., Marguelles-Bonnet, R., Yung, J. P., 1993.

The relationships between the temporomandibular joint disc and related masticatory muscles in humans.

J. Oral Maxillofac. Surg. 51, 397-401.

Dausch-Neumann, D., 1985.

Der Kieferwinkel bei eugnatem und progenem Gebiß.

Fortschr. Kieferorthop. 46, 358-368.

Delaire, J., 1976.

Betrachtungen über die Wachstumszunahme der Prämaxilla beim Menschen.

Fortschr. Kieferorthop. 37, 167-183.

Dingmann, R., Dingmann, D., Lawrence, R., 1975.

Surgical correction of lesions of the temporomandibular joints.

Plastic reconstr. Surg. 55, 335-340.

Enlow, D. H., 1975.

Handbook of facial growth.

Saunders, Philadelphia, London, Toronto.

Fanghänel, J., Miehe, B., 1994.

The influence of altered occlusion on the condylar cartilage of the mandible and on the growth of the entire skull.

Ann. Anat. 176, 61-65.

Fanghänel, J., Pera, F., Anderhuber, F., Nitsch, R., 2003.

Waldeyer, Anatomie des Menschen.

17. Aufl., W. de Gruyter, Berlin, New York.

Fick, R., 1910.

Anatomie der Gelenke, Allgemeine Gelenk- und Muskelmechanik, Spezielle Gelenk- und Muskelmechanik.

1. Aufl., G. Fischer, Jena.

Frick, H., Leonard, H., Stark, D., 1992.

Spezielle Anatomie II, Taschenlehrbuch der gesamten Anatomie, Bd. 2.

4. Aufl., G. Thieme, Stuttgart, New York.

Gaa, U., Hüls, A., 1989.

Biophysikalische Gewebeeigenschaften des Discus articularis und ihre funktionelle Bedeutung.

Dtsch. Zahnärztl. Z. 44, 75-78.

Gerber, A., 1973.

Die Behandlung der Kiefergelenkstörungen in der Prothetik.

Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 83, 31-39.

Guichet, N. F., 1977 b.

Biologic laws governing functions of muscles that move the mandible. Part III. Speed of closure-manipulation of the mandible.

J. Prosthet. Dent. 38, 174-179.

Gühning, W., Barth, J., 1992.

Grundwissen für Zahntechniker, Anatomie, Bd. III.

3. Aufl., Neuer Merkur, München.

Hasund, A., 1974.

Klinische Kephalometrie für die Bergen-Technik.

Kieferorthopädische Abteilung des Zahnärztlichen Instituts der Universität Bergen, Bergen, Norwegen.

Hägg, U., Taranger, J., 1980.

Skeletal stages of the hand and wrist as indicators of the pubertal growth spurt.

Acta Odontol. Scand. 38, 187-200.

Helfgen, E. H., Hombach, H., Koeck, B., 1994.

Funktionsmorphologische Zusammenhänge im stomatognathen System.

Dtsch. Zahnärztl. Z. 49, 473-476.

Hinrichsen, K., 1993.

Schädelentwicklung.

In: Hinrichsen, K. (Hrsg.). Humanembryologie.

1. Aufl., Springer, Berlin.

Hinton, R. J., 1983.

Relationships between mandibular joint size and craniofacial size in human groups.

Arch. Oral Biol. 28, 37-43.

Ibe, D., 1991.

Untersuchung Hamburger Patienten mit Idealokklusion – Findung einer Norm.

Med. dent. Diss., Hamburg.

Kahl-Nieke, B., 2001.

Einführung in die Kieferorthopädie.

2. Aufl., Urban & Fischer, München, Jena.

Koppe, T., Autrum, B., Krczal, P., 1993.

Physiologische Formvarianten am Kiefergelenk des Menschen und der Pongiden.

In: Benner, K.-U., Fanghänel, J., Kowalewski, R., Kubein-Meesenburg, D., Randzio, J. (Hrsg.). Morphologie, Funktion und Klinik des Kiefergelenks.

1. Aufl., Quintessenz, Berlin, New York.

Krogh-Poulsen, W., Troest, T., 1989.

Form und Funktion im stomatognathen System.

In: Hupfaut, L. (Hrsg.). Funktionsstörungen des Kauorgans. Praxis der Zahnheilkunde 8.

2. Aufl., Urban & Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore.

Kubein, D., Stachniss, V., Krüger, W., Jähnig, A., 1980.

Teilaspekte eines Konzeptes für die Kiefergelenkfunktion.

Dtsch. Zahnärztl. Z. 35, 631-634.

Kubein-Meesenburg, D., Jähnig, A., 1983.

Zur Biomechanik des menschlichen Kiefergelenkes (eine Studie an den Funktionsstrukturen des Os temporale in der Sagittal-Vertikal-Ebene).

Dtsch. Zahnärztl. Z. 38, 32-39.

Kubein-Meesenburg, D., Jäger, A., Paschereit, F., 1984.

Untersuchungen zum individuellen Interinzisalwinkel und individuellen Wurzeltorque oberer und unterer Frontzähne.

Fortschr. Kieferorthop. 45, 187-197.

Kubein-Meesenburg, D., 1985 a.

Die kraniale Grenzfunktion des stomatognathen Systems des Menschen.

Habil.-Schrift, Hanser, München, Wien.

Kubein-Meesenburg, D., 1985 b.

Die kraniale Grenzfunktion des stomatognathen Systems des Menschen.

Coll. med. dent. 29, 675-695.

Kubein-Meesenburg, D., Nägerl, H., Fanghänel, J., Schwestka-Polly, R., 1989 a.

Die Anordnung des stomatognathen Koppelsystems im Schädel.

Dtsch. Zahnärztl. Z. 44, 23-26.

Kubein-Meesenburg, D., Nägerl, H., 1990.

Basic principles of relation of anterior and posterior guidance in stomatognathic systems.

Anat. Anz. 171, 1-12.

Kubein-Meesenburg, D., Nägerl, H., Fanghänel, J., 1990 a.

Elements of a general theory of joints. 1. Basic kinematic and static function of diarthrosis.

Anat. Anz. 170, 301-308.

Kubein-Meesenburg, D., Nägerl, H., Schwestka-Polly, R., Jäger, A., 1990 b.

Wachstum des Gesichtsschädels und Biomechanik des stomatognathen Systems.

Orthodont. Kieferorthop. 1, 53-71.

Kubein-Meesenburg, D., Nägerl, H., Fanghänel, J., 1993 a.

Biomechanik und neuromuskuläre Steuerung des Kiefergelenks.

In: Brenner, K.-U., Fanghänel, J., Kowalewski, R., Kubein-Meesenburg, D., Randzio, J. (Hrsg.). Morphologie, Funktion und Klinik des Kiefergelenks.

1. Aufl., Quintessenz, Berlin, New York.

Kubein-Meesenburg, D., Nägerl, H., Cotta, H., Fanghänel, J., 1993 b.

Biomechanische Prinzipien in Diarthrosen und Synarthrosen, Teil I: Grundbegriffe bei Diarthrosen.

Z. Orthop. Grenzgeb. 131, 97-104.

Kubein-Meesenburg, D., Nägerl, H., Schwestka-Polly, R., Thieme, K. M., Fanghänel, J., Miehe, B., 1999.

Functional conditions of the mandible: theory and physiology.

Ann. Anat. 181, 27-32.

Kubein-Meesenburg, D., Thieme, K., Ihlow, D., Sadat-Khonsari, R., Nägerl, H., 2006.

FR-Bild und Kinematik der Mandibula – Bewegung mandibulärer Punkte und skelettale Strukturen. In: 79. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kieferorthopädie (DGK), Nürnberg, 06. September bis 10. September 2006, 1-22.

Kubein-Meesenburg, D., Thieme, K. M., Dumont, C., Ihlow, D., Nägerl, H., 2007 a.

The movement structure of the mandible and the alignment of the neck.

Ann. Anat. 189, 387 – 389.

Kubein-Meesenburg, D., Fanghänel, J., Ihlow, D., Lotzmann, U., Hahn, W., Thieme, K. M., Proff, P., Gedrange, T., Nägerl, H., 2007 b.

Functional status of the mandible and rolling-gliding-characteristics in the TMJ.

Ann. Anat. 189, 393 – 396.

Kubein-Meesenburg, D., Thieme, K. M., Weber, S., Fanghänel, J., Dumont, C., Spassov, A., Hahn, W., Ihlow, D., Nägerl, H., 2008.

Mandible, maxilla and cervical spine – a functional unit?

J. Physiol. Pharmacol. 59, 75-80.

Lehmann, K. M., Hellwig, E., 2002.

Zahnärztliche Propädeutik.

9. Aufl., Urban & Fischer, München, Jena.

Lehr, R., Owens, S., 1980.

An electromyographic study of the human lateral pterygoid muscles.

Anat. Rec. 196, 441-448.

Lohrmann, B., Nikow, O., 2002.

Kommentar zum kieferorthopädischen Behandlungsplan.

2. Aufl., Eigendruck, Georg-August-Universität Göttingen.

Lohrmann, B., Schwestka-Polly, R., Nägerl, H., Kubein-Meesenburg, D., 2006.

The influence of funktional orthodontics and mandibular sagittal split advancement osteotomy on dental and skeletal variables- a comparative cephalometric study.

Eur. J. Orthod. 28, 553-560.

Mahan, P., 1983.

Normale und anormale Funktion des Kiefergelenks.

In: Solberg, W. K., Clark, G. (Hrsg.). Das Kiefergelenk.

1. Aufl., Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin, 33-43.

Mahan, P., Wilkinson, T., Gibbs, C. H., Mauderli, A., Brannon, L., 1983.

Superior and inferior bellies of the lateral pterygoid muscle EMG activity at basic jaw positions.

J. Prosthet. Dent. 50, 710-718.

Mc Namara, J., 1973.

The independent functions of the two heads of the lateral pterygoid muscle.

Am. J. Anat. 138, 197-206.

Miethke, R. R., 1990.

Praxis der Zahnheilkunde. Bd. 11, Kieferorthopädie I.

2. Aufl., Urban & Schwarzenberg, München.

Moffet, B., 1966.

The morphogenesis of the temporomandibular joint.

Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop. 52, 401-415.

Motsch, A., 1968 a.

Kaufunktion und Kiefergelenkbeanspruchung.

Dtsch. Zahnärztl. Z. 23, 819-835.

- Murray, G., Orfanos, T., Chan, J., Wanigaratne, K., Klineberg, I., 1999.
Electromyographic activity of the human lateral pterygoid muscle during contralateral and protrusive jaw movements.
Arch. Oral Biol. 44, 269-285.
- Nägerl, H., 1990.
Biomechanische Prinzipien in Diarthrosen und Synarthrosen.
Med. Habil.-Schr., Göttingen.
- Nägerl, H., Kubein-Meesenburg, D., Fanghänel, J., Thieme, K. M., Klamt, B., Schwestka-Polly, R., 1991 a.
Elements of a General Theory of Joints. 6. General Kinematical Structure of Mandibular Movements.
Anat. Anz. 173, 249 – 264.
- Nägerl, H., Kubein-Meesenburg, D., Fanghänel, J., Klamt, B., Thieme, K. M., Schwestka-Polly, R., 1991 b.
Die posteriore Führung der Mandibula als neuro-muskulär gegebene dimere Gelenkkette.
Dtsch. Stomatol. 41, 279-283.
- Nägerl, H., Kubein-Meesenburg, D., Schwestka-Polly, R., Thieme, K. M., Fanghänel, J., Mische, B., 1999.
Functional Condition of the Mandible: Physical Structures of Free Mandibular Movement.
Ann. Anat. 181, 41 – 44.
- Pereira, F., Lundh, H., Westesson, P., 1994.
Morphological changes in the temporomandibular joint in different age groups.
Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. 78, 279-287.
- Phanachet, I., Murray, G., 2000.
Human lateral pterygoid muscle activity on the return phase of the contralateral and protrusive jaw movements.
Arch. Oral Biol. 45, 517-529.

Rees, A. L., 1954.

The structure and function of the mandibular joint.

Br. Dent. J. 96, 125-133.

Rocabado, M., Ingle, J. A., 1991.

Musculoskeletal Approach to Maxillo-Facial Pain.

J. B. Lippincott Company, Philadelphia.

Schiebler, T. H., Korf, H. W., 2007.

Anatomie.

10. Aufl., Steinkopff.

Schwarz, A. M., 1951.

Lehrgang der Gebissregulierung. Bd. 1.

Urban & Schwarzenberg, Wien, Innsbruck.

Schwestka-Polly, R., Kubein-Meesenburg, D., Nägerl, H., Fanghänel, J., Mische, B., 1999.

Alteration of the functional condition of the mandible during clinical treatment.

Anat. Anz. 181, 45-50.

Segner, D., Hasund, A., 1998.

Individualisierte Kephallometrie.

3. Aufl., Segner, Hamburg.

Siebert, G. K., 1987.

Zahnärztliche Funktionsdiagnostik.

2. Aufl., Hanser, München, Wien.

Skieller, V., Björk, A., Linde-Hansen, T., 1984.

Prediction of mandibular growth rotation evaluated from a longitudinal implant sample.

Am. J. Orthod. 86, 359-370.

Sobotta, J., 2004.

Atlas der Anatomie des Menschen. Putz, R., Pabst, R. (Hrsg.).

21. Aufl., Urban & Fischer, München, Jena.

Solberg, W. K., Clark, G. T., 1983.

Das Kiefergelenk: Diagnostik und Therapie.

Quintessenz, Berlin, New York.

Solberg, W. K., Hansson, T., Nordström, B., 1985.

The temporomandibular joint in young adults at autopsy: a morphologic classification and evaluation.

J. Oral Rehabil. 12, 303-321.

Solberg, W. K., 1986.

Temporomandibular disorders: functional and radiological considerations.

Br. Dent. J. 22, 195-200.

Sonnenburg, I., Fethke, K., Sonnenburg, M., 1984.

Zur Druckbelastung des Kiefergelenks- eine experimentelle Studie.

Anat. Anz. 155, 309-315.

Steenks, M. H., de Wijer, A., 1991.

Kiefergelenkfehlstellungen aus physiotherapeutischer und zahnmedizinischer Sicht: Diagnose und Therapie.

Quintessenz, Berlin, New York.

Thieme, K. M., Kubein-Meesenburg, D., Ihlow, D., Nägerl, H., 2006.

Is a „movable hinge axis“ used by the human stomatognathic system?

Acta Bioengin. Biomech. 8, 13-25.

Töndury, G., 1965.

Das Kiefergelenk.

In: Töndury, G. (Hrsg.). Angewandte und topographische Anatomie.

3. Aufl., G. Thieme, Stuttgart.

Überla, K., 1971.

Faktorenanalyse: eine systematische Einführung für Psychologen, Mediziner, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler.

2. Aufl., Springer, Berlin, New York.

van der Linden, F. P. G. M., Boersma, H., 1988.

Diagnose und Behandlungsplanung in der Kieferorthopädie.

Quintessenz, Berlin, New York.

Virchow, R., 1857.

Untersuchungen über die Entwicklung des Schädelgrundes im gesunden und krankhaften Zustande und über den Einfluss derselben auf Schädelform, Gesichtsbildung und Gehirnbau.
Reimer, Berlin.

Waldeyer, A., 1973.

Anatomie des Menschen, 2. Teil.

9. Aufl., W. de Gruyter, Berlin, New York.

Waldeyer, A., Mayet, A., 1993.

Anatomie des Menschen, Bd. 1.

16. Aufl., W. de Gruyter, Berlin, New York.

Weinberg, L., 1975.

Anterior condylar displacement: its diagnosis and treatment.

J. Prosthet. Dent. 34, 195-207.

Weiß, C., 2010.

Basiswissen Medizinische Statistik.

5. Aufl., Springer, Heidelberg.

Welcker, H., 1862.

Untersuchungen über Wachstum und Bau des menschlichen Schädels: Allgemeine Verhältnisse des Schädelwachstums und Schädelbaues, normaler Schädel deutschen Stammes, Bd. 1.

W. Engelmann, Leipzig.

Widmalm, S., Lillie, J., Ash, M., 1987.

Anatomical and electromyographic studies of the lateral pterygoid muscle.

J. Oral Rehabil. 14, 429-446.

Yale, S., Ceballos, M., Kresnoff, C., 1963.

Some observations on the classification of mandibular condyle types.

Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. 16, 572-577.

Yale, S. H., Allison, B. D., Hauptfuehrer, J. D., 1963.

An epidemiological assessment of mandibular condyle morphology.

Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. 21, 169-177.

Zech, S., Fricke, J., 2005.

Morphologische und biomechanische Untersuchungen an menschlichen Kiefergelenken und Cercopithecus mona-Präparaten.

Med. dent. Diss., Greifswald.

Legende für Abkürzungen

allgemeine Abkürzungen

OK	= Oberkiefer
UK	= Unterkiefer
FRS	= Fernröntgenseitenbild

kephalometrische Variablen

SNA°	= Ausdruck der sagittalen Lage der Maxilla in Relation zur Schädelbasis (SellaNasionA-Punkt – Winkel)
SNB°	= Ausdruck der sagittalen Lage der Mandibula in Relation zur Schädelbasis (SellaNasionB-Punkt – Winkel)
ANB°	= Ausdruck der basalen sagittalen Beziehung zwischen Maxilla und Mandibula (A-PunktNasionB-Punkt – Winkel)
SNPg°	= Ausdruck der basalen sagittalen Lage des Unterkiefers bzw. der Kinnprominenz (SellaNasionPogonion – Winkel)
ML-NSL°	= Ausdruck der Neigung der Mandibula zur Schädelbasis und des Wachstumsmusters (Winkel zwischen MandibularLinie und NasionSellaLinie)
NL-NSL°	= Ausdruck der Neigung der Maxilla zur Schädelbasis (Winkel zwischen NasalLinie und NasionSellaLinie)
ML-NL°	= Ausdruck der Neigung der Mandibula zur Basis der Maxilla, Interbasiswinkel zur Einordnung des Wachstumstyps in basal vertikaler Relation (Winkel zwischen MandibularLinie und NasalLinie)
NSBa°	= Neigung des Clivus zur anterioren Schädelbasis, Schädelbasisknickungswinkel (NasionSellaBasion – Winkel)
GnGoAr°	= Ausdruck der Relation des Ramus zum Corpus mandibulae und damit Ausdruck der Form des Unterkiefers, Kieferwinkel für Prognose der Wachstumsrichtung (GnathionGonionArticulare – Winkel)
N°	= Ausdruck für die Kinnprominenz (Norderval – Winkel)
PgNB°	= Ausdruck für die Kinnprominenz (PogonionNasionB-Punkt – Winkel)
PgNB (mm)	= Ausdruck für die knöcherne Kinnprominenz (PogonionNasionB

	Punkt – Strecke in mm)
Index %	= Beziehung zwischen mittlerer und unterer Gesichtshöhe in % $(N-Sp' \times 100) / (Sp'-Gn) = \text{Index (\%)}$ <p>N=Nasion, Sp'=Spina nasalis Strich, Schnittpunkt der Nasal-Linie mit der Linie Nasion-Gnathion, Gn=Gnathion</p>
OK1:UK1°	= Interinzisalwinkel, Winkelmessung zwischen den Zahnachsen der mittleren Schneidezähne des Ober- und Unterkiefers
OK1:NA°	= Frontzahnneigung im Oberkiefer, Winkelmessung zur statistischen Beurteilung der Inklinatation (Achsneigung) des anteriorsten oberen Inzisivus zur NA-Linie (NasionA-Punkt – Linie)
UK1:NB°	= Frontzahnneigung im Unterkiefer, Winkelmessung zur statistischen Beurteilung der Inklinatation (Achsneigung) des anteriorsten unteren Inzisivus zur NB-Linie (NasionB-Punkt – Linie)
OK1:NA (mm)	= Bestimmung der sagittalen Position des anteriorsten oberen Inzisivus zur NA-Linie in mm
UK1:NB (mm)	= Bestimmung der sagittalen Position des anteriorsten unteren Inzisivus zur NB-Linie
μ°	= funktionelle dentobasale Zuordnung der UK-Inzisivi, Winkel zwischen der Zahnachse des mittleren UK-Inzisivus und der Verbindungslinie zwischen der Schneidekante und dem Condylenmittelpunkt
β°	= funktionelle dentobasale Zuordnung der OK-Inzisivi, Winkel zwischen der Zahnachse des mittleren OK-Inzisivus und der Wendepunkttangente
β'°	= funktionelle dentobasale Zuordnung der OK-Inzisivi, verläuft die Wendepunkttangente nicht durch den Condylus, wird die Abweichung als Winkel β' zwischen dem Verlauf der tatsächlichen Wendepunkttangente und der idealen gemessen

kinematischen Variablen

MML	= Minimal-/Maximal-Linie
WZL	= Linie der WiderstandsZentren 10 mm oberhalb der Okklusionsebene der OK-SZ
WZ	= WiderstandsZentrum = Mittelpunkt der WZL

Cp	= Condylenmittelpunkt
Tc	= Schnittpunkt der Tangente (45° zur x-Achse, Winkel nach distal geöffnet) am vorderen Condyluskopf
PatInit	= PatientenInitialen
FRSDat	= FernRöntgenSeitenbildDatum
Geb.Dat	= GeburtsDatum
MML-WZL°Ö	= MML-WZL° Öffnung (Winkel geöffnet nach)
A MML-WZ	= cm-Abstand MML zu WZ (90° auf MML)
A WZ-MML	= cm-Abstand WZ zu MML (90° auf WZL)
MML° X	= MML-Winkel zur x-Achse
S MML X	= Schnittpunkt MML auf x-Achse in cm
A MML-Cp	= cm-Abstand MML zu Cp
A MML-Tc	= cm-Abstand MML zu Tc
A WZL-Cp	= cm-Abstand WZL zu Cp
WZL° X	= WZL° zur x-Achse
S WZL X	= Schnittpunkt WZL auf x-Achse in cm
A UK-I Y	= Abstand des UK-Inzisalpunktes zur y-Achse in cm
FLM	= funktionale Länge der Mandibula in cm
NSLCp° S	= Winkel zwischen NSL (NasionSellaLinie) und SCpL (SellaCondylenmittelpunktLinie)
NSLCp° N	= Winkel zwischen NSL (NasionSellaLinie) und NCpL (NasionCondylenmittelpunktLinie)
L NSL	= Länge der NasionSellaLinie in cm
FLM° X	= Winkel funktionale Länge der Mandibula zur x-Achse
g0° X	= Winkel g0 (Nulllinie) zur x-Achse
g0° FLM	= Winkel g0 (Nulllinie) zur funktionalen Länge der Mandibula
S g0 X	= Schnittpunkt g0 (Nulllinie) mit x-Achse
A g0 Sm	= Abstand g0 (Nulllinie) zu Sellamittelpunkt (90° auf g0)
MML-FLM°	= Winkel MML-funktionale Länge der Mandibula
A MML-FLM	= Abstand MML-funkt. Länge der Mandibula wenn MML und FLM
xHM	= x-Wert für Hauptminimum bezüglich Koordinatensystem in Cp
yHM	= y-Wert für Hauptminimum bezüglich Koordinatensystem in Cp
xNM	= x-Wert für Nebenminimum bezüglich Koordinatensystem in Cp
yNM	= y-Wert für Nebenminimum bezüglich Koordinatensystem in Cp
xLM	= x-Wert für Längenminimum bezüglich Koordinatensystem in Cp
yLM	= y-Wert für Längenminimum bezüglich Koordinatensystem in Cp

g_{0xHM}	= x-Wert für Haupt minimum bezüglich der Geraden g_0
g_{0yHM}	= y-Wert für Haupt minimum bezüglich der Geraden g_0
g_{0xNM}	= x-Wert für Neben minimum bezüglich der Geraden g_0
g_{0yNM}	= y-Wert für Neben minimum bezüglich der Geraden g_0
g_{0xLM}	= x-Wert für Längen minimum bezüglich der Geraden g_0
g_{0yLM}	= y-Wert für Längen minimum bezüglich der Geraden g_0

MML oberhalb WZL/Cp/Tc	+
MML unterhalb WZL/Cp/Tc	-
	1
nicht	0

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die hier vorliegende Dissertation selbstständig verfasst und keine anderen als die hier angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und dass eine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.

Sylvia Weber

Regensburg, den 19.10.2012

Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. P. Proff, Direktor des Lehrstuhls für Kieferorthopädie der Fakultät für Medizin der Universität Regensburg, danke ich sehr herzlich, dass ich in seiner Abteilung meine Arbeit zu Ende führen konnte, die zahlreichen Hinweise waren mir sehr hilfreich. Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. dent. D. Kubein-Meesenburg, Direktor der Abteilung für Kieferorthopädie des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universitätsmedizin der Georg-August-Universität Göttingen, für die Überlassung des Themas und die umfassende Unterstützung bei der Arbeit an der Dissertation. Ein sehr großer Dank geht auch an Herrn Prof. Dr. med. J. Fanghänel, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Kieferorthopädie Regensburg für die Durchsicht meiner Dissertation und die vielen Hilfestellungen. Frau Dr. rer. nat. K. M. Thieme aus der Abteilung für Kieferorthopädie der Georg-August-Universität Göttingen danke ich sehr für die Hilfestellungen und die vielen nützlichen Hinweise. Herrn Dr. rer. nat. H. Dathe aus der Abteilung für Kieferorthopädie der Georg-August-Universität Göttingen bin ich sehr dankbar für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung meiner Daten und Frau Stöneberg, Chefsekretärin bei Herrn Prof. Dr. D. Kubein-Meesenburg, für die freundliche Hilfsbereitschaft. Meinen Eltern und meinem Lebenspartner danke ich sehr für ihr entgegengebrachtes Verständnis.

Sylvia Weber

Regensburg, den 19.10.2012